

**ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

**DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE,  
AMBIENTALI E ALIMENTARI**

**Scuola di Ingegneria Agraria**

**XXVI CICLO – A.A. 2010/11**

Settore Concorsuale di afferenza: 07/C1 Ingegneria Agraria, Forestale e dei Biosistemi

Settore Scientifico disciplinare: AGR/10 Costruzioni rurali e territorio agroforestale

**TITOLO:**

*Modellazione edilizia e simulazione energetica per le analisi delle prestazioni e la  
progettazione integrata delle cantine aziendali*

Presentata da: Alberto Barbaresi

Coordinatore Dottorato:  
Prof. Giovanni Dinelli

Relatrice:  
Prof.ssa Patrizia Tassinari

Correlatore:  
Ing. Daniele Torreggiani

Correlatore:  
Ing. Stefano Benni

Esame finale anno 2014

*“ Ritengo che la soluzione di ogni problema vada ricercata nel disegno e nello schema globale. Il rapporto fra cause ed effetti, signora Rawlinson, spesso è più sottile e complesso di quanto noi, ad una prima e sommaria visione del mondo fisico, saremmo naturalmente portati a supporre.*

*Lasci che le faccia un esempio. Se lei va da un agopunturista con il mal di denti, quello le infila un ago nella coscia. Sa perchè, signora Rawlinson?*

*No, nemmeno io, signora Rawlinson, ma scoprirlo è il nostro scopo. È stato un piacere parlare con lei, signora Rawlinson. Arrivederci.”*

*“Dirk Gently. Agenzia di investigazione olistica”  
Douglas Adams*

## Sommario

Il presente studio si colloca nell'ambito di una ricerca il cui obiettivo è la formulazione di criteri progettuali finalizzati alla ottimizzazione delle prestazioni energetiche delle cantine di aziende vitivinicole con dimensioni produttive medio-piccole. Nello specifico la ricerca si pone l'obiettivo di individuare degli indicatori che possano valutare l'influenza che le principali variabili progettuali hanno sul fabbisogno energetico dell'edificio e sull'andamento delle temperature all'interno dei locali di conservazione ed invecchiamento del vino. Tali indicatori forniscono informazioni sulla prestazione energetica dell'edificio e sull'idoneità dei locali non climatizzati finalizzata alla conservazione del vino.

Essendo la progettazione una complessa attività multidisciplinare, la ricerca ha previsto l'ideazione di un programma di calcolo in grado di gestire ed elaborare dati provenienti da diversi ambiti (ingegneristici, architettonici, delle produzioni agroindustriali, ecc.), e di restituire risultati sintetici attraverso indicatori allo scopo individuati.

Il programma è stato applicato su un caso-studio aziendale rappresentativo del settore produttivo. Sono stati vagliati gli effetti di due modalità di vendemmia e di quattro soluzioni architettoniche differenti. Le soluzioni edilizie derivano dalla combinazione di diversi isolamenti termici e dalla presenza o meno di locali interrati. Per le analisi sul caso-studio ci si è avvalsi di simulazioni energetiche in regime dinamico, supportate e validate da campagne di monitoraggio termico e meteorologico all'interno dell'azienda oggetto di studio.

I risultati ottenuti hanno evidenziato come il programma di calcolo concepito nell'ambito di questo studio individui le criticità dell'edificio in termini energetici e di "benessere termico" del vino e consenta una iterativa revisione delle variabili progettuali indagate. Esso quindi risulta essere uno strumento informatizzato di valutazione a supporto della progettazione, finalizzato ad una ottimizzazione del processo progettuale in grado di coniugare, in maniera integrata, gli obiettivi della qualità del prodotto, della efficienza produttiva e della sostenibilità economica ed ambientale.

## Abstract

*This study aims to find design criteria for energy performance maximization for wineries in small-medium wine-growing and producing farms. Specifically, the research identifies indicators in order to assess the influence of different design solutions on the winery energy demand and on the temperature trends within wine-ageing and wine-keeping rooms. These indicators provide information about winery energy performances and about non-conditioned-room suitability to preserve and age the wine.*

*The winery design can be a complex, multidisciplinary activity, hence a program has been created in order to manage and calculate data coming from different design areas (oenology, architecture, materials, etc.) returning results in terms of the abovementioned indicators. The program is applied on a case-study farm winery. Two different type of harvest and four architectural solutions have been considered. The building solutions have been generated by the combinations of different thermal insulation and underground/aboveground building. To complete the analysis of the winery case-study, whole building energy simulations have been performed. The simulations have been supported and validated by a thermal and meteorological survey carried out within the case-study farm.*

*The results underline the program capability to show the building criticality in terms of energy efficiency and thermal "comfort" for the wine, allowing an iterated revision of the investigated design solutions. The program proves to be a computerized assessment tool in support of energy-efficiency-oriented design, allowing the user to manage, integrate and combine the aims of product quality, production efficiency and economical and environmental sustainability.*

*Key words: winery, energy efficiency, integrated design, wine-ageing*

<b>1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI DELLA RICERCA .....</b>	<b>5</b>
<b>2. STATO DELL'ARTE.....</b>	<b>9</b>
2.1. LETTERATURA SCIENTIFICA .....	9
2.1.1. <i>Impatto ambientale nella produzione del vino .....</i>	9
2.1.2. <i>L'impatto ambientale delle cantine .....</i>	12
2.1.3. <i>La progettazione architettonica e funzionale delle cantine .....</i>	12
2.1.4. <i>La progettazione energetica delle cantine.....</i>	13
2.2. NORMATIVA ENERGETICA .....	16
2.2.1. <i>Comunità Europea.....</i>	16
2.2.2. <i>Italia .....</i>	16
2.2.3. <i>Emilia Romagna .....</i>	20
2.2.4. <i>Metodologie di calcolo .....</i>	22
2.3. ESPERIENZE INNOVATIVE NEL PANORAMA NAZIONALE ED INTERNAZIONALE .....	24
2.3.1. <i>Italia .....</i>	25
2.3.2. <i>Stati Uniti d'America.....</i>	39
<b>3. MATERIALI E METODI.....</b>	<b>55</b>
3.1. AREA STUDIO .....	55
3.1.1. <i>Caratteristiche dell'area studio.....</i>	56
3.1.2. <i>Analisi del comparto vitivinicolo Emiliano-Romagnolo e dell'area studio.....</i>	57
3.1.3. <i>Definizione del campione di aziende .....</i>	60
3.1.4. <i>Analisi svolte sul campione .....</i>	61
3.1.5. <i>Definizione delle unità funzionali.....</i>	63
3.1.6. <i>Nuove valenze delle aziende vitivinicole .....</i>	64
3.2. CASO STUDIO .....	65
3.2.1. <i>L'azienda "Branchini" .....</i>	65
3.2.2. <i>Il centro aziendale .....</i>	66
3.2.3. <i>Monitoraggio.....</i>	67
3.3. STRUMENTI DI MODELLAZIONE E SIMULAZIONE ENERGETICA .....	70
3.3.1. <i>Il software Energy Plus .....</i>	71
3.3.2. <i>Il software OpenStudio .....</i>	74
3.3.3. <i>Il file dei dati climatici epw .....</i>	77
3.4. PROGRAMMA DI CALCOLO PER LA PROGETTAZIONE E GESTIONE DELLA CANTINA .....	79
3.4.1. <i>Dati di progetto .....</i>	83
3.4.2. <i>Conferimento da vendemmia meccanica .....</i>	83
3.4.3. <i>Conferimento da vendemmia manuale (alternativa alla 2) .....</i>	84
3.4.4. <i>Cronoprogramma utilizzo vasi vinari.....</i>	85
3.4.5. <i>Calcolo energetico raffreddamento uve .....</i>	86
3.4.6. <i>Rilascio CO<sub>2</sub>.....</i>	87
3.4.7. <i>Rilascio calore.....</i>	87
3.4.8. <i>Calcolo potenza impianto di refrigerazione .....</i>	88



3.4.9.	<i>Risultati calcolo energetico climatizzazione</i> .....	89
3.4.10.	<i>Riassunto dati energetici</i> .....	89
3.4.11.	<i>Dimensionamento impianto</i> .....	90
3.4.12.	<i>Conversioni</i> .....	91
3.4.13.	<i>Applicazione della metodologia di calcolo</i> .....	91
3.5.	METAPROGETTAZIONE.....	92
3.5.1.	<i>Definizione delle unità funzionali e dei relativi spazi da ospitare nel nuovo edificio</i> .....	92
3.5.2.	<i>Scelta del sito di costruzione e conseguenti valutazioni</i> .....	96
3.5.3.	<i>Dimensionamento dell'edificio</i> .....	97
3.6.	DEFINIZIONE DEI CRITERI PER LA VALUTAZIONE ENERGETICA DELL'EDIFICIO E VARIANTI COSTRUTTIVE .....	103
3.6.1.	<i>Locali climatizzati</i> .....	103
3.6.2.	<i>Locali non climatizzati</i> .....	104
3.6.3.	<i>Definizione del benessere termico del vino</i> .....	106
3.6.4.	<i>Scelta delle soluzioni progettuali da valutare</i> .....	106
3.7.	MODELLAZIONE ENERGETICA.....	110
3.7.1.	<i>Creazione del file meteo</i> .....	110
3.7.2.	<i>Suddivisione dell'edificio in Zone Termiche</i> .....	110
3.7.3.	<i>Definizione dei carichi termici presenti nelle attività ospitate nella cantina</i> .....	111
3.7.4.	<i>Definizione dei materiali da costruzione e dei pacchetti murari utilizzati</i> .....	111
<b>4.</b>	<b>RISULTATI</b> .....	<b>116</b>
4.1.	RILASCIO DI ANIDRIDE CARBONICA.....	116
4.2.	ANALISI DEI LOCALI NON CLIMATIZZATI BASATA SUL COMFORT/DISCOMFORT DEL VINO .....	118
4.2.1.	<i>Risultati delle simulazioni energetiche inerenti i locali non climatizzati nelle quattro varianti progettuali</i> .....	118
4.2.2.	<i>Analisi relative agli indicatori di Discomfort e Attenuazione per la valutazione dell'idoneità dei locali non climatizzati ad ospitare il vino</i> .....	128
4.3.	DIMENSIONAMENTO IMPIANTO TERMICO .....	133
4.3.1.	<i>Potenze e carichi termici: climatizzazione degli ambienti</i> .....	133
4.3.2.	<i>Potenze e carichi termici: climatizzazione nelle operazioni di vinificazione</i> .....	146
4.3.3.	<i>Considerazioni sul dimensionamento dell'impianto termico</i> .....	153
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>158</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>161</b>
	<b>ALLEGATI</b> .....	<b>165</b>
A.	PUBBLICAZIONI .....	166
A.1	<i>Underground cellar thermal simulation: Definition of a method for modelling performance assessment based on experimental calibration</i> .....	166
A.2	<i>Thermal Performance Assessment for Energy-Efficient Design of Farm Wineries</i> .....	176
B.	SCHEMI PROGETTUALI DELLE SOLUZIONI PUG E AGR.....	185
B.1	<i>Schemi progettuali delle soluzioni parzialmente interrato (PUG)</i> .....	185
B.2	<i>Schemi progettuali delle soluzioni fuori terra (AGR)</i> .....	191

# **1. Introduzione e obiettivi della ricerca**

Il presente studio prende in considerazione la tematica della progettazione delle cantine di aziende vitivinicole medio-piccole, con particolare riferimento alle aziende agricole che trasformano prevalentemente uve di propria produzione.

Come tutti i processi di trasformazione, anche la vinificazione e le successive fasi di conservazione e di invecchiamento possono avere ripercussioni sull'ambiente. Numerosi studi scientifici si sono occupati degli impatti ambientali della produzione di uva e della sua trasformazione in vino, studi che hanno permesso di quantificare gli impatti dell'intero ciclo di vita dell'uva (dal vigneto al bicchiere) in termini - tra l'altro - di emissione di gas serra equivalenti, in relazione alla crescente attenzione rivolta alla problematica del riscaldamento globale. Questi studi, per loro stessa natura, forniscono dati importanti sull'inquinamento diretto ed indiretto causato dalla produzione del vino. Seppur non deputati ad indicarli direttamente, gli studi di impatto ambientale sono attualmente molto utili per indagare le cause che originano le ripercussioni ambientali dei processi produttivi e per fornire un supporto per la valutazione dei possibili rimedi confrontando soluzioni alternative in fase progettuale.

La valutazione degli impatti ambientali in termini di gas serra emessi sta orientando i legislatori statali e sovrastatali verso una maggiore sostenibilità energetica degli edifici, imponendo controlli, verifiche e certificazioni sempre più restrittive finalizzate alla riduzione dei consumi energetici. Questa tendenza normativa, che trova riscontri positivi anche da parte dei cittadini e delle figure professionali coinvolte nel processo edilizio, mira a raggiungere una quasi autosufficienza energetica per la climatizzazione per la maggior parte degli edifici realizzati dopo il 2020 (nZEB near Zero Energy Building).

Oltre alla problematiche legate alla climatizzazione degli ambienti in cui è prevista l'attività umana, una cantina necessita di due ulteriori apporti energetici legati al controllo delle temperature: la climatizzazione durante l'intero anno nei locali in cui è prevista la conservazione o l'invecchiamento del vino e l'asportazione del calore prodotto dalla fermentazione. Al contempo, dal punto di vista dell'operatività aziendale, negli ultimi tempi è possibile osservare l'affermarsi ed il consolidamento di nuove funzionalità che la cantina deve poter essere in grado di ospitare, funzionalità nate da un nuovo concetto di apertura dell'azienda verso il cliente diretto ed il mercato in genere, i quali recepiscono con favore attività come la degustazione o la commercializzazione del prodotto legata ad eventi culturali o ricreativi studiati appositamente attorno al tema del vino ed in generale mostrano apprezzamento per una immagine aziendale qualificata e diversificata al di là delle funzioni meramente produttive. Queste nuove funzionalità non sostituiscono bensì affiancano

e rafforzano quelle storicamente presenti nell'edificio collegate esclusivamente alla produzione, conservazione e vendita del prodotto. La cantina diventa quindi luogo di riferimento ed introduzione al mondo del vino assumendo una nuova valenza ricreativa e turistica, pertanto la progettazione dell'edificio, seppur finalizzata alla produzione, subisce una forte influenza da strategie di marketing dell'azienda. Tra le strategie più comuni, vi è anche quella di ricreare architetture ed ambienti che possano essere collegati al territorio, all'ambiente culturale e naturale di riferimento, alla produzione biologica e, più in generale, ad una produzione ecosostenibile. In questo contesto si inserisce un interesse verso materiali naturali, verso l'efficienza energetica, la riduzione dei consumi, energetici ed idrici, e l'uso di fonti di energia rinnovabili. Questi aspetti possono caratterizzare fortemente l'involucro dell'edificio e i suoi impianti e non per ultima l'estetica dell'edificio, la quale è spesso parte integrante dell'immagine aziendale.

Inoltre, analizzando la letteratura scientifica di settore, è possibile constatare come, se da un lato una significativa massa critica di ricerca si è orientata verso lo studio delle cantine industriali e degli aspetti inerenti all'innovazione della relativa parte impiantistica, meno frequenti siano gli studi che si occupano della progettazione edilizia per le piccole e medie aziende vitivinicole. Pertanto si registra la carenza di specifiche indicazioni e linee guida progettuali finalizzate ad ottimizzare in modo integrato la progettazione del sistema edificio-impianti, al fine di ottimizzare l'efficienza e l'efficacia del processo produttivo, considerando - tra le altre peculiarità di tale contesto applicativo - la tipica compresenza di edifici storici e di fabbricati più recenti (sia specificatamente costruiti sia riadattati da precedenti funzioni) e la carenza di protocolli standardizzati in relazione alla scala produttiva.

Alla luce di questi elementi, si comprende come la progettazione edilizia delle cantine aziendali debba tenere in considerazione molteplici variabili progettuali collegate ad aspetti funzionali, impiantistici, ed energetici, senza trascurare quelli architettonici e di marketing. Risulta facile intuire come ognuno di questi aspetti influenzi necessariamente l'organismo edilizio implicando conseguenze più o meno tangibili sugli altri ambiti progettuali. Le ricerche prodotte in questi ultimi anni offrono contributi validi e numerosi ma raramente indagano la reciproca interazione delle singole variabili progettuali.

Per questa ragione si è ravvisata l'esigenza di analizzare le principali variabili progettuali e di valutarne le implicazioni reciproche sin dalla fase progettuale, al fine di organizzare e gestire l'iter progettuale in modo organico, fornendo al contempo alle diverse professionalità coinvolte nella progettazione edilizia delle cantine, indicazioni utili ad una reciproca interazione e iterativa revisione nella definizione degli aspetti di approfondimento di specifica competenza disciplinare.

Pertanto l'obiettivo della ricerca consiste nel concepire, sviluppare e testare uno strumento informatizzato di valutazione a supporto della progettazione, finalizzato ad una ottimizzazione del processo progettuale in grado di coniugare, in maniera integrata, gli obiettivi della qualità del prodotto, della efficienza produttiva e della sostenibilità economica ed ambientale.

Obiettivo specifico dello studio è l'implementazione di tale strumento attraverso:

- la definizione di indicatori di valutazione delle prestazioni relativi all'andamento delle temperature ambientali per i locali non climatizzati destinati alla conservazione del vino nel lungo periodo basati su considerazioni inerenti il benessere termico del prodotto;
- la definizione di indicatori di valutazione delle prestazioni relativi alla energia termica necessaria alla climatizzazione per i locali climatizzati e alla termoregolazione dei vasi vinari durante il processo di vinificazione;
- lo sviluppo di un modello di calcolo integrato in grado di gestire opportunamente le suddette interazioni, in funzione delle ripercussioni che ciascuna variabile oggetto di indagine ha sui valori degli indicatori adottati e dunque di guidare una progettazione finalizzata all'ottimizzazione delle prestazioni energetiche dell'edificio.

La tesi è così suddivisa: nel Capitolo 2 viene riportato lo stato dell'arte, in particolare la disamina della letteratura scientifica (Paragrafo 2.1), la descrizione dell'evoluzione normativa energetica nell'ambito delle costruzioni (Paragrafo 2.2) ed infine vengono riportati alcuni esempi di cantine che presentano aspetti innovativi nel panorama italiano ed internazionale (Paragrafo 2.3).

I materiali e i metodi utilizzati nella ricerca sono esplicitati nel Capitolo 3. In questo capitolo vengono innanzitutto descritti il caso studio utilizzato a riferimento (Paragrafo 3.2) e il suo contesto (Paragrafo 3.1). La trattazione inerente i software utilizzati per le simulazioni energetiche sono riportati nel Paragrafo 3.3. Il Paragrafo 3.4 è dedicato ad uno degli aspetti fondamentali di questa ricerca: il programma di calcolo integrato di supporto alla progettazione, ovvero lo strumento che consente la gestione e l'elaborazione dei dati utilizzati in questa ricerca fornendo i risultati in termini di indicatori energetici e di "comfort" del vino. Il Paragrafo 3.5 descrive il processo di metaprogettazione utilizzato in questo lavoro. Nel Paragrafo 3.6 è esplicitata la Definizione dei criteri per la valutazione energetica dell'edificio e varianti costruttive. Nell'ultima parte del capitolo (3.7) sono riportate le modalità di modellazione energetica dell'edificio caso studio.

I risultati ottenuti sono discussi nel Capitolo 4. Esso è strutturato seguendo le schede di output presenti nello strumento di progettazione: il Paragrafo 4.1 descrive il rilascio di anidride carbonica

dovuta alla fase di fermentazione, il Paragrafo 4.2 esamina i risultati inerenti i locali non climatizzati ed infine il Paragrafo 4.3 riguarda il dimensionamento dell'impianto che coinvolge i locali climatizzati e i carichi termici provenienti dall'abbassamento delle temperature di uva e mosti richiesti durante le fasi di conferimento e fermentazione.

Le Conclusioni sono riportate nell'ultimo capitolo, il Capitolo 5. Gli Allegati A e B, riportati in fondo alla tesi, riportano rispettivamente le pubblicazioni dell'autore su riviste indicizzate e gli schemi grafici delle soluzioni proposte per il caso studio.

## **2. Stato dell'arte**

### **2.1. Letteratura scientifica**

#### **2.1.1. Impatto ambientale nella produzione del vino**

La trasformazione dell'uva in vino, è un processo complesso che si compone di numerose operazioni le quali partono dalla coltivazione dei vigneti e arrivano, in molti casi, all'imbottigliamento, passando per numerose altre operazioni quali la vendemmia, il conferimento, la pigiatura, la fermentazione, la pressatura, lo stoccaggio e l'imbottigliamento.

Come tutti processi di trasformazione, in particolare quelli di origine antropica, la produzione di vino ha un suo impatto ambientale che può essere quantificato secondo numerosi indicatori, alcuni dei quali sono di particolare importanza in quanto collegati al riscaldamento globale.

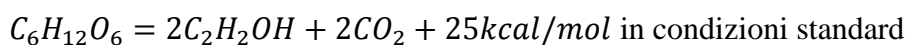
Tra gli indicatori più utilizzati per quantificare l'impatto ambientale durante il periodo di vita di un individuo, un'organizzazione un prodotto o un evento, vi è l'emissione di CO<sub>2</sub> in quanto il suo aumento è una delle principali cause dell'effetto serra (IPCC 1990). Il concetto di Carbon Footprint (Wright, Kemp, and Williams 2011) si pone come indicatore di riferimento per il rischio di riscaldamento in quanto calcola, oltre il gas effettivamente emesso, anche la quantità di CO<sub>2</sub> indirettamente prodotta da altri processi connessi al processo indagato tra cui il consumo energetico, i trasporti ecc. Essa viene calcolata sull'intero ciclo di vita del prodotto e si esprime in termini di CO<sub>2</sub>e (massa di anidride carbonica equivalente). L'importanza del contenimento delle emissioni è ribadita dallo stesso Protocollo di Kyoto il quale basa la riduzione del rischio di riscaldamento globale del pianeta sulla riduzione delle emissioni di elementi di inquinamento volatili (oltre all'anidride carbonica vi sono altri 5 cinque gas serra).

Vari metodi per il calcolo della Carbon Footprint sono stati codificati e standardizzati, uno dei più utilizzati è il LCA (Life Cycle Assessment). Definito come “valutazione del ciclo di vita dalla culla alla tomba (from cradle to grave)” (ISO 2006) esso è una metodologia che valuta le interazioni con l'ambiente di un prodotto o servizio, includendo tutte le fasi dalla pre-produzione alla dismissione finale, restituendo come risultato finale, tra altri possibili, il calcolo della massa di CO<sub>2</sub>e riferito all'Unità Funzionale, intendendo quest'ultima come la quantità di prodotto utilizzata a riferimento (per il vino solitamente si usa 1 litro di prodotto o in alternativa 750ml, corrispondenti alla quantità contenuta nella classica bottiglia). Un'altra fase importante della LCA riguarda la definizione delle condizioni al contorno, ovvero la definizione della parte del ciclo di vita da indagare: nel caso di prodotti di trasformazione come il vino si opera solitamente valutando l'intero ciclo di vita, dal vigneto alla dismissione della bottiglia secondo il concetto “from cradle to grave”, oppure dal

vigneto all’imbottigliamento “from cradle to gate”. L’obiettivo è quello di comprendere le conseguenze dirette e indirette in termini ambientali dell’oggetto indagato dalla LCA, fornendo uno strumento che possa valutare miglioramenti e mitigazioni degli effetti negativi di un prodotto.

Diversi studi su scala globale si sono occupati dell’emissione della CO<sub>2</sub> nella produzione di vino. Calcolando l’anidride carbonica emessa durante le varie fasi della vinificazione, Point et al. (2012) hanno dimostrato che in Canada la produzione del vino dal vigneto all’imbottigliamento (“from cradle to gate”), escludendo la fermentazione, produce circa 1.6 kg CO<sub>2</sub>e per ogni bottiglia. Se in aggiunta si considerano anche il trasporto del prodotto al venditore, l’acquisto, la conservazione e la dismissione del prodotto (“from cradle to grave”), la CO<sub>2</sub>e raddoppia a 3.22 (34 t/ha) kg per bottiglia. Interessante notare che il viaggio del consumatore al negozio di vendita al dettaglio costituisce il 37.27% del totale. Pizzigallo et al. (2008) hanno confrontato due cantine Toscane, una industriale e una biologica dal vigneto all’imbottigliamento, mostrando che la prima produce 995 kg di CO<sub>2</sub>e per ogni t di vino (0.74 kg per bottiglia), mentre la seconda, particolarmente attenta al risparmio energetico, emette 549 kg di CO<sub>2</sub>e (0.41 kg per bottiglia) a parità di quantità di prodotto. Decisamente utile per avere una visione d’insieme è lo studio di Rugani et al. (2013) il quale, confrontando 35 diversi studi, valuta che l’emissione di CO<sub>2</sub>e nell’intero ciclo di vita corrisponde a 2.2+/-1.3 kg per bottiglia di cui circa il 54% è imputabile alla fase “from cradle to gate”. Un altro dato di notevole importanza ai fini di questo studio risiede nella sostanziale equivalenza di impatto ambientale tra produzione e conservazione del prodotto, circa 0.25 kgCO<sub>2</sub>e per bottiglia.

Nessuno di questi studi tiene direttamente in considerazione la CO<sub>2</sub> prodotta ed assorbita dal vigneto e dalla fermentazione alcolica ad eccezione di Notarnicola & Tassielli (2003) i quali, affrontando il tema della LCA in diverse cantine del Sud Italia, affermano la sostanziale equivalenza tra la CO<sub>2</sub> assorbita dal vigneto e quella emessa durante la fermentazione (escludendola quindi dal loro studio di impatto ambientale del vino). Per una comprensione complessiva del fenomeno, si sono considerati anche ricerche che hanno come obiettivo l’assorbimento della CO<sub>2</sub> nei campi destinati all’agricoltura in particolare nei vigneti. Alcuni autori (Ventura et al. 2007; Facini et al. 2007) calcolano che, in un vigneto situato in Italia centrale, il bilancio fra CO<sub>2</sub> emessa durante la respirazione ed assorbita durante la fotosintesi, in un anno, è negativo e corrisponde a -22 tonnellate per ettaro. Volendo analizzare la CO<sub>2</sub> emessa durante la fermentazione alcolica con la formula di Gay Lussac:



**Equazione 1 Formula di Gay-Lussac per la fermentazione alcolica**

risulta che, per ogni litro di vino, la CO<sub>2</sub> prodotta dal processo di trasformazione dello zucchero in alcool è di circa 100g per litro (come meglio spiegato nel Paragrafo 3.4.6). Confrontando i due dati e considerando una resa media del vigneto di 12 t/ha e di 800 litri di vino per tonnellata, la CO<sub>2</sub> complessiva emessa dalla fermentazione è di poco inferiore a 1.0 t/ha.

Mantenendo le stesse ipotesi di resa potremmo confrontare i risultati dello studio di Rugani et al. (2013). con i dati elaborati da Ventura et al. (2007) ottenendo che la CO<sub>2</sub>e emessa dal ciclo di vita del vino, calcolata sul vigneto è mediamente di circa 28 t CO<sub>2</sub>e la quale risulta essere dello stesso ordine di grandezza della CO<sub>2</sub> assorbita. Se a questi dati escludiamo quelli non imputabili all'azienda (dall'imbottigliamento alla dismissione) otteniamo che il vino prodotto da un ettaro di vigneto emette mediamente 14t, quantità decisamente inferiore a quella assorbita. Doveroso ricordare che il confronto appena descritto potrebbe variare sensibilmente al variare di rese e grado zuccherino dell'uva, per i quali sono state fatte delle ipotesi cautelative non potendo indagare tutte le possibili combinazioni.

Lo studio di questi dati è stato utile per comprendere:

- l'alta eterogeneità del problema dell'impatto ambientale della produzione del vino, fortemente influenzato da sito (es: situazione climatica), scelte aziendali (es: vendita di vino sfuso o imbottigliato, conservazione o meno del prodotto), qualità del vino (es: resa del vigneto, qualità) e numerosi altri fattori;
- la quota parte dell'intero impatto ambientale del vino in termini di CO<sub>2</sub>e emessa imputabile alla sola azienda, infatti il 50% è riconducibile alle restanti operazioni successive alla produzione, in particolare al trasporto;
- la quota parte di emissioni imputabili a vinificazione e conservazione del prodotto, le quali sono sostanzialmente identiche;
- l'impatto ambientale in termini di CO<sub>2</sub>e quasi nullo della produzione del vino, considerando l'intero bilancio di CO<sub>2</sub>, quindi anche la quantità assorbita dal vigneto; in particolare l'azienda vitivinicola risulta emettere una quantità di CO<sub>2</sub>e decisamente inferiore a quello che assorbe tramite il proprio vigneto.

Quest'ultimo risultato non deve però giustificare una sottovalutazione dell'impatto ambientale legato alla produzione del vino. La capacità di assorbimento di CO<sub>2</sub> del vigneto, anche se potenzialmente superiore alla CO<sub>2</sub> emessa dalla trasformazione del prodotto, non può essere considerata unicamente a servizio dell'azienda ma a servizio della comunità, diventando di fatto compensativa per quei processi sui quali non è possibile apportare riduzioni di emissioni di gas



serra nel breve periodo. In tale senso si è mossa la normativa californiana con il Carbon Cap-and-Trade Program (State of California 2006) il quale stabilisce un tetto (cap) di CO<sub>2</sub>e massimo per ogni azienda. Qualora il tetto non venga raggiunto o al contrario sia superato, la legge permette la monetizzazione degli eccessi e dei difetti attraverso la compra vendita (trade) di quote di CO<sub>2</sub> tra aziende, cercando così di favorire economicamente le aziende virtuose.

### **2.1.2. L'impatto ambientale delle cantine**

L'impatto ambientale delle cantine inteso come emissioni di CO<sub>2</sub>e dipende in piccola parte dalla fermentazione alcolica e grande parte dal consumo energetico causato dalle lavorazioni e dal controllo climatico nei locali destinati a conservazione. Esso è stato oggetto di alcuni studi tra cui si ricorda il progetto Best Winery (Lawrence Berkeley National Laboratory 2005) creato per la valutazione dell'efficienza energetica ed idrica delle cantine negli Stati Uniti e successivamente ripreso, modificato ed adattato alle situazioni di alcuni paesi europei (tra cui l'Italia) grazie al progetto europeo Amethyst (European Commission 2007). Un ricerca simile per scopo ai progetti succitati, è stata condotta in Australia nel 2003 con il nome Wineries of the Future - Energy Efficiency Best Practice Program - (Commonwealth of Australia 2003). Soffermendoci sul caso italiano, l'obiettivo del progetto Amethyst era quello di sviluppare uno strumento capace di valutare il livello di efficienza di una cantina nell'uso dell'energia e dell'acqua nella produzione del vino. Lo strumento consisteva in un foglio elettronico da compilare con i dati di produzione e consumi della cantina; completata la fase in input il programma restituiva un'indicazione sull'efficienza energetica della cantina indicandone i consumi e confrontando il rapporto tra consumi e produzione della cantina oggetto di valutazione, con quello di un'ipotetica cantina ad alta efficienza, dando così la possibilità agli operatori di studiare quale fosse l'attuale situazione nell'uso dell'energia elettrica e termica, dell'acqua e i potenziali margini di miglioramento. Il limite del software, ai fini di questo studio, è quello di non indagare le cause di eventuali sprechi di risorse ma di limitarsi a quantificarli. Nonostante il progetto sembra non aver avuto il successo sperato (l'ultimo aggiornamento risale al 2009 così come quello del programma originario statunitense fermo al 2007 (Lawrence Berkeley National Laboratory 2005) resta un interessante riferimento per l'efficienza. Risulta molto utile inoltre un database dei consumi creato sulla realtà italiana reperibile nella documentazione del programma.

### **2.1.3. La progettazione architettonica e funzionale delle cantine**

Un'analisi sull'edificio-cantina ha sottolineato come gli spazi legati alla vitivinicultura, intesi come vigneti e centri aziendali, mostrino valenze estetiche, identitarie, ambientali fortemente percepite dai cittadini (Casamonti and Pavan 2004), le stesse valenze (già definite nella Convezione Europea del Paesaggio) che hanno reso il paesaggio legato alla vitivinicultura, icona della cultura e del

territorio italiano nell'immaginario collettivo mondiale. A questo si aggiunge l'evoluzione del centro aziendale il quale spesso, oltre la consolidata vendita del prodotto, affianca nuove funzioni - e quindi nuovi spazi dedicati all'ospitalità del consumatore - tra le quali la degustazione, eventi culturali e ricreativi appositamente creati attorno il tema del vino (Tassinari, Benni, et al. 2010). Questa evoluzione da un lato ha portato un nuovo slancio nello sviluppo architettonico dell'edificio, coinvolgendo, in alcuni casi, anche architetti di fama mondiale (es: Herzog and De Meuron per la Dominus Winery, Alberto Cecchetto per la Rotari, Santiago Calatrava per la Bodega Ysios e altri), dall'altro lato rendono l'edificio cantina un organismo più complesso e articolato, in particolare per le piccole aziende nelle quali, in spazi limitati, devono essere previste la presenza e la coesistenza delle nuove funzioni legate al prodotto.

La ricerca di indicazioni progettuali nella recente produzione scientifica, propone prevalentemente lavori su cantine industriali (Ayuga 1999) e innovazioni tecnologiche legate alle attrezzature ed agli impianti (Jacquet and Capdeville 2007). Non altrettanto estesa risulta la letteratura concernente la progettazione edilizia e funzionale di cantine per aziende medio piccole, all'interno di questa limitata produzione, interessanti risultano il lavoro di Failla et al. (2008) riguardante la sicurezza nei luoghi di lavoro e Fichera et al. (1995) inerente la sostenibilità edilizia e paesaggistica relazionata all'inserimento paesaggistico e all'uso di suolo. La crescente sensibilità rivolta all'ambiente e quindi al risparmio energetico, ha spinto diversi studiosi ad occuparsi della valutazione degli effetti dei locali interrati nella conservazione del vino e nell'uso razionale della climatizzazione nei locali di conservazione (Martín Ocaña and Cañas Guerrero 2005; Martín Ocaña and Cañas Guerrero 2006). Questi studi, basandosi su monitoraggi di situazioni esistenti, forniscono valide indicazioni per la progettazione di locali destinati alla conservazione, in particolare riproponendo l'uso dei locali interrati storicamente utilizzati per la conservazione degli alimenti.

#### **2.1.4. La progettazione energetica delle cantine**

Le scelte architettoniche e funzionali, tra cui orientamento dell'edificio, materiali utilizzati nell'involucro edilizio, disposizione planimetrica ecc., possono avere forti ripercussioni nell'andamento termico dei locali con conseguenze tangibili sia nel fabbisogno energetico per la climatizzazione sia nel benessere termoigrometrico (per l'uomo e per il vino).

Nell'ambito del processo di produzione del vino, le fasi di conservazione e invecchiamento risultano fondamentali ai fini della qualità del prodotto e pertanto sono state oggetto di numerosi studi finalizzati all'individuazione delle condizioni termoigrometriche ideali. Troost (1953) suggerisce differenti intervalli di temperatura, uno per i vini bianchi (9°C – 12°C) e un altro per i vini rossi (12°C – 15°C). Hidalgo Togores (2003) propone lo stesso intervallo per i vini rossi. Diversamente Bondiac (1953) raccomanda una temperatura costante tra i 10°C e i 12°C, mentre

Marescalchi (1965) raccomanda temperature tra i 15°C e i 20°C per il primo anno di conservazione e tra i 4°C e i 12°C per gli anni successivi. La SEPSA (1952) indica l'importanza di una temperatura costante tra gli 8°C e i 14°C, consigliando che la temperatura non sia mai superiore ai 25°C e mai inferiore a 4°C. Vogt (1971) indica che l'oscillazione annuale di temperatura non sia mai superiore a 5-6°C all'interno di un intervallo di temperatura di 8°C -12°C per i vini bianchi e circa 12°C per i rossi e mai superiore di 15°C. Christaki & Tzia (2002) indicano che la conservazione al di sotto dei 12°C sia una misura preventiva contro i rischi di questa fase. Ribereau-Gayon et al. (2002) confermano l'aumento dei rischi per temperature al di sopra dei 20°C e l'assenza di problemi dovuti alle basse temperature. Altri autori (Ruiz Hernandez 1999; Zamora 2003) non si riferiscono a soglie numeriche di temperatura, ma piuttosto mettono in evidenza il rischio dovuto alle eccessive oscillazioni delle temperature esterne e soprattutto alle elevate temperature estive.

Nel contempo molti di questi autori propongono modi di progettare cantine al fine di raggiungere condizioni ambientali adeguate per i vini (orientamento appropriato, protezione solare, ventilazione controllata), evidenziando i vantaggi di una costruzione interrata per garantire la stabilità termica (Marescalchi 1965; Theron and Niehaus 1934; Zamora 2003). evitando oscillazioni termiche eccessive (Vogt 1971; Zamora 2003) per contenere contrazioni e dilatazioni del liquido.

L'umidità relativa dovrebbe essere elevata e costante per ridurre le perdite del vino a causa dell'evaporazione nel caso di conservazione in botti di legno o barriques, ma allo stesso tempo non deve causare condensazione dell'acqua. (De Rosa 1988) fissa un minimo valore dell'80% per evitare che il vino contenuto nella botte diventi rancido. (Troost 1953) propone un intervallo compreso tra 86% e 98%, (Hidalgo Togores 2003) suggerisce un valore tra 70% e 80% per ridurre le perdite del vino ed evitare la condensazione. (Ruiz De Adana, Lopez, and Sala 2005) hanno analizzato le perdite di vino in relazione alla temperatura, all'umidità relativa e alla velocità dell'aria all'interno della cantina e hanno riportato che le perdite di vino possono variare dall' 1% fino a picchi del 9% del volume del vino conservato. Dall'ampia letteratura in materia si evince quindi che nella generalità dei casi l'umidità relativa dei locali di invecchiamento del vino dovrebbe essere non inferiore al 70% e la temperatura compresa tra i 9 e i 20 °C, con una escursione massima attorno ai 6°C, per permettere una adeguata evoluzione del vino, contenendo entro limiti accettabili le perdite di peso dovute a evaporazione e a perdite fisiche dalle botti.

Tra i locali che necessitano di un clima specifico vi sono sicuramente i locali destinati alla conservazione. In epoche passate, una delle soluzioni per la conservazione dei prodotti alimentari, in particolare del vino, consisteva nella collocazione degli alimenti in locali interrati (Alberti 1565; di Giorgio Martini 1967), i quali grazie alle note caratteristiche termiche del terreno, favorivano il mantenimento delle condizioni termo-igrometriche idonee alla conservazione. Dalla seconda metà

del secolo scorso, dato l'alto costo di realizzazione di fabbricati interrati e il basso costo dell'energia elettrica, si è preferito delegare il controllo termo-igrometrico necessario all'invecchiamento del vino, agli impianti di climatizzazione, i quali garantiscono temperature ed umidità prestabilite con un alto grado di controllo e precisione a fronte di un consumo energetico in stretta dipendenza con le condizioni ambientali al contorno (tra le quali sito, orientamento dell'edificio, condizioni meteorologiche, soluzioni architettoniche ed impiantistiche adottate ecc.).

Attualmente, come spiegato in precedenza, il fabbisogno energetico legato alla conservazione del prodotto incide per circa il 50% del totale di una cantina per la produzione di vino fermo; se si considerano invece prodotti finali quali lo spumante metodo classico o lo champagne, dove l'intera produzione è affinata in bottiglia per periodi lunghi fino a 5 anni, i consumi destinati alla climatizzazione hanno un'incidenza maggiore. Indicativi, a questo proposito, sono i dati forniti dalla cantina Rotari (azienda leader nella produzione di vino spumante metodo classico) situata in Trentino nella quale il consumo energetico durante i 10 mesi dell'anno non coinvolti dalla vendemmia è mediamente il 57% del totale annuo ed è imputabile per la quasi totalità alla climatizzazione dei locali interrati destinati all'affinamento in bottiglia, il 43% dei consumi si registra invece durante i mesi di settembre ed ottobre, tale consumo è sicuramente imputabile alle operazioni per la vinificazione ma anche in buona parte alla climatizzazione dei locali. L'azienda stima che i consumi per la climatizzazione del locale per la seconda fermentazione in bottiglia, si assestino tra il 65-70% del totale.

Negli ultimi anni l'aumento progressivo dei costi dell'energia, l'orientamento normativo finalizzato al risparmio energetico (European Commission 2010) e la crescente sensibilità ambientale dell'opinione pubblica, stanno spingendo la ricerca ed il mercato alla valutazione dei prodotti dell'edilizia anche dal punto di vista energetico (Presidenza del Consiglio dei Ministri 2013), preferendo soluzioni caratterizzate da bassi consumi, con un conseguente nuovo interessamento per l'interramento degli edifici destinati alla conservazione. Anche per questa ragione al giorno d'oggi è possibile reperire diversi software di comprovata validità che effettuano simulazioni termiche degli edifici utilizzando modelli informatizzati previsionali di trasferimento di calore in regime dinamico (U.S. Department of Energy 2013; Autodesk 2013). Una buona progettazione degli edifici, in grado di vagliare dal punto di vista termico diverse soluzioni architettoniche, materiche ed impiantistiche, può portare alla riduzione dell'apporto energetico esterno per la climatizzazione e quindi ad una riduzione di costi di gestione.

## **2.2. Normativa energetica**

### **2.2.1. Comunità Europea**

Il primo passo compiuto dalla Comunità Europea per promuovere norme comunitarie finalizzate al risparmio energetico, ha riguardato la certificazione dei materiali da costruzione e delle caldaie. Nello specifico la Direttiva 89/106/CEE (21/12/1988) ha istituito norme comunitarie per i prodotti da costruzione con il fine di armonizzare quelle esistenti nei singoli stati membri, mentre la Direttiva 92/42/CEE (21/05/1992) ha introdotto la certificazione delle caldaie per la produzione di acqua calda alimentate da combustibili liquidi o gassosi.

Le direttive successive hanno riguardato l'introduzione di criteri per valutare e quindi ridurre il fabbisogno energetico residenziale e terziario legato alla climatizzazione e hanno fornito dei limiti per ridurre le emissioni di anidride carbonica. La Direttiva 92/75/CEE (22/09/1992) obbliga i produttori di apparecchi domestici alimentati ad energia elettrica, a fornire informazioni ai consumatori inerenti i consumi degli apparecchi. La Direttiva 93/76/CEE (13/09/1993) ha come scopo quella della riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> agendo sull'efficienza energetica degli edifici sul rendimento delle caldaie e sull'isolamento termico dell'involucro edilizio.

Successivamente la Direttiva 2002/91/CE (16/12/2002) ha introdotto il concetto di certificazione energetica basata sul rendimento energetico integrato negli edifici, ovvero la prestazione termica della costruzione è valutata in base a parametri che dipendono da fattori diversi (isolamento termico, rendimento degli impianti, produzione propria di energia) e che possono essere espressi tramite un valore che tiene conto di tutti questi parametri. La Direttiva ha inoltre introdotto dei requisiti minimi da rispettare per le nuove costruzioni e quelle da ristrutturare. Questa Direttiva si inserisce nei provvedimenti nati dopo il Protocollo di Kyoto (approvato nel 1997). Il protocollo si basa sulla riduzione di emissioni legate al riscaldamento globale. Dalla documentazione della Direttiva stessa, si evince che la riduzione del fabbisogno energetico per la climatizzazione degli edifici così come auspicata, corrisponderebbe al soddisfacimento del 20% dei parametri previsti dal Protocollo di Kyoto. L'introduzione di certificazione energetica basata su un calcolo integrato del fabbisogno energetico, spinge all'utilizzo di impianti alimentati (almeno parzialmente) da fonti energetiche rinnovabili riducendo la necessità di combustibili fossili riducendo quindi le emissioni inquinanti.

### **2.2.2. Italia**

La legge 373/76 è stata la prima ad occuparsi della materia del consumo energetico per la climatizzazione in Italia. Essa fissava dei limiti per la potenza degli impianti di riscaldamento, attraverso un coefficiente legato al volume da riscaldare, imponeva inoltre valutazioni inerenti

l'isolamento termico negli edifici. La legge però non ha mai esplicitato come poter effettuare la verifica della potenza e non dava indicazioni in merito all'efficienza degli impianti. Queste sono due fra le cause per cui la legge non è risultata efficace, anche se rimane comunque il primo intervento verso il risparmio energetico in Italia.

Quindici anni dopo, viene approvata la Legge 10/91 (09/01/1991), legge innovativa sul risparmio energetico, infatti fissava limiti massimi al fabbisogno di energia per le nuove costruzioni e limiti minimi al rendimento degli impianti. La legge rimandava alle norme UNI gli aspetti inerenti le modalità di calcolo e verifica. L'innovazione principale rispetto alla legge precedente riguarda l'adozione del fabbisogno energetico come parametro di valutazione e non più la potenza dell'impianto, la quale può non rappresentare i reali consumi dell'edificio. Ad essa hanno fatto seguito le norme UNI previste dalla legge stessa (UNI 10344, 10345, 10346, 10347, 10349, 10351 e 10355) le quali fornivano indicazioni sui metodi per calcolare il fabbisogno annuo di energia dell'edificio sulla base di quattro rendimenti caratteristici di un impianto di riscaldamento: produzione, distribuzione, regolazione ed emissione.

Il 2005 ha visto il recepimento della Direttiva Europea 2002/91/CE tramite il D.Lgs 192/05. Con esso lo Stato Italiano precisa gli obiettivi in materia del contenimento dei consumi energetici delegando a successivi decreti attuativi, la determinazione dei requisiti minimi e dei metodi di calcolo. Non molto dissimile dalla normativa in vigore, il Decreto può essere visto come un aggiornamento e un miglioramento dello strumento legislativo precedente. Nello specifico viene definito il concetto di "efficienza energetica" come "la quantità annua di energia effettivamente consumata ad un uso standard dell'edificio". I punti principali del decreto riguardano la definizione della metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche, l'applicazione di requisiti minimi di prestazione energetica, criteri generali per la certificazione energetica (limitata alle sole nuove costruzioni e agli interventi di ristrutturazione), ispezioni periodiche obbligatorie degli impianti, criteri atti a garantire la qualificazione e l'indipendenza degli esperti incaricati all'ispezione tecnica e alla certificazione energetica.

Un aspetto innovativo del decreto è senza dubbio l'introduzione del certificato energetico. Il decreto ha una validità limitata all'introduzione di norme specifiche regionali e ai relativi strumenti attuativi, il tutto redatto sul recepimento della Direttiva Europea. Il legislatore ha voluto lasciare la competenza in ambito energetico alle regioni evidenziando che una normativa specifica regionale terrebbe conto delle risorse energetiche, dei consumi, del clima propri di ogni Regione, ottimizzando quindi le leggi alla propria situazione.

Va evidenziato che il Decreto 192/05 non si applica agli edifici esistenti se non per interventi di ristrutturazione per entità superiori a 1000mq. Questa situazione, in un paese come l'Italia dove la ristrutturazione rappresenta un'alta percentuale degli investimenti edilizi, ha portato alla necessità di integrazioni e modifiche con un il Decreto 311/06. Tale decreto introduce:

- una graduale riduzione della superficie d'intervento minima per l'applicazione del decreto;
- l'estensione (futura) dell'obbligo della certificazione energetica a tutti gli edifici, anche a quelli esistenti;
- fino all'emanazione delle Linee Guida nazionali, è previsto un regime transitorio, durante il quale possibile sostituire il certificato energetico sostituito con un attestato di qualificazione energetica redatto dal progettista dell'edificio o dal direttore lavori. Qualora la singola Regione non abbia provveduto all'introduzione di un modello di certificato, si ricorre all'"attestato di qualificazione energetica" AQE, nel quale devono essere riportati i fabbisogni di energia primaria, la classe energetica dell'edificio in relazione al sistema di certificazione e possibili interventi migliorativi con i relativi passaggi di classe, tutto firmato da un tecnico abilitato;
- viene introdotto l'indice di prestazione energetica parziale (EP) e totale, dove il consumo di energia primaria viene riferito all'unità di superficie utile (uso residenziale) o di volume (altri usi).

Il Decreto Ministeriale del 26 Giugno 2009 specifica le Linee Guida Nazionali, diventando di fatto la piena attuazione della Direttiva 2002/91/CE. Il DM è composto da 8 articoli e due allegati, le linee guida costituiscono l'Allegato A, mentre le norme tecniche di riferimento sono contenute nell'Allegato B.

**Tabella 1 Classi di prestazione energetica: edifici di classe E.1 esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme (kWh/m<sup>2</sup>anno)**

A+	$EP_{tot} < 25$
A	$EP_{tot} < 40$
B	$40 < EP_{tot} < 60$
C	$60 < EP_{tot} < 90$
D	$90 < EP_{tot} < 130$
E	$130 < EP_{tot} < 170$
F	$170 < EP_{tot} < 210$
G	$EP_{tot} > 210$

Tabella 2 Classi di prestazione energetica: altri edifici (kWh/m<sup>3</sup>anno)

A	$EP_{tot} < 8$
B	$8 < EP_{tot} < 16$
C	$16 < EP_{tot} < 30$
D	$30 < EP_{tot} < 44$
E	$44 < EP_{tot} < 60$
F	$60 < EP_{tot} < 80$
G	$EP_{tot} > 80$

I punti principali riguardano:

- l'Attestato di Certificazione Energetica. In esso deve essere esplicitata l'efficienza energetica dell'edificio, le classi prestazionali riferite ai valori di riferimento a norma di legge e infine le indicazioni economicamente sostenibili per interventi di riqualificazione energetica;
- validità dell'Attestato di Certificazione Energetica. L'articolo 6 pone come limite massimo di validità 10 anni, purchè in questo periodo vengano rispettate tutte le prescrizioni relative ai controlli e alle manutenzioni degli impianti. Qualora le prescrizioni non venissero rispettate, l'Attestato perde validità l'anno successivo in cui si è verificato il non rispetto della prima scadenza relativa a controlli o manutenzioni;
- Aggiornamento dell'attestato di certificazione energetica. Deve essere aggiornato ad ogni intervento di ristrutturazione, edilizio e impiantistico, che modifica la prestazione energetica dell'edificio.
- la prestazione energetica complessiva dell'edificio è espressa attraverso l'indice di prestazione energetica globale (EPgl o EPtot), dato dalla somma dei seguenti termini:

$$EP_{gl} = EP_i + EP_{acs} + EP_e + EP_{ill}$$

con:

EP<sub>i</sub> è l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale;

EP<sub>acs</sub> è l'indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria;

EP<sub>e</sub> è l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva;

EP<sub>ill</sub> è l'indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale.

Le classi energetiche di riferimento sono dipendenti dai Gradi Giorno della località e del rapporto di forma S/V dell'edificio. È opportuno precisare, che il "rapporto di forma", è definito come rapporto



tra la superficie disperdente dell'edificio e il volume lordo riscaldato. Per quanto riguarda le modalità di calcolo la normativa offre due diverse soluzioni:

- il Metodo di calcolo da progetto, che fornisce la valutazione della prestazione energetica per gli edifici di nuova costruzione e per quelli completamente ristrutturati a partire dai dati teorici del progetto energetico dell'edificio e dei sistemi impiantistici a servizio dell'edificio.
- Il Metodo di calcolo da rilievo, che fornisce la valutazione della prestazione energetica a partire dai dati ottenuti da indagini svolte sull'edificio oggetto di certificazione.

### **2.2.3. Emilia Romagna**

La prima legge che è importante ricordare in questo studio è la Legge Regionale n. 26 del 23/12/2004, la quale si prefigge di “promuovere lo sviluppo sostenibile del sistema energetico regionale garantendo che vi sia una corrispondenza tra energia prodotta, il suo uso razionale e la capacità di carico del territorio e dell'ambiente”. Per attuare questa finalità, la legge si rivolge più alla grande distribuzione delle risorse energetiche che al cittadino fissando le competenze degli Enti e dei gestori coinvolti nel processo di distribuzione e proponendo dei criteri per favorire l'uso razionale delle risorse energetiche, valorizzare l'energia recuperabile da impianti e sistemi e favorire lo sviluppo di fonti energetiche rinnovabile.

Per quanto riguarda il problema energetico a scala edilizia, la Delibera dell'Assemblea Legislativa n.156 del 04/03/2008 definisce delle metodologie per la valutazione delle prestazione energetica degli edifici e degli impianti energetici, la creazione di un sistema di accreditamento degli operatori preposti alla certificazione energetica degli edifici con relativo elenco e le modalità di rilascio degli attestati di certificazione. Rispetto alla vigente normativa nazionale, la Legge Regionale incrementa i requisiti prestazionali minimi degli edifici tramite l'abbassamento dei limiti di trasmittanza delle pareti, dei valori limite di EP, e l'aumento della copertura dei consumi di energia primaria con fonti di energia rinnovabile.

La precedente delibera viene aggiornata dal DGR 1362/2010 secondo quanto previsto dal DPR 59/2009 (requisiti minimi nazionali). Nello specifico corregge il limite dell'indice di prestazione per acqua calda sanitaria (EP<sub>acs</sub>), introduce il limite dell'indice EP<sub>e,inv</sub> (raffrescamento) ai sensi del DPR 59/2009 ed aggiorna il requisito finalizzato alla prevenzione del surriscaldamento definendo prescrizioni sulla trasmittanza termica periodica. Inoltre rivede le definizioni dei sistemi BACS (Domotica) ed introduce i criteri per adottare le biomasse. La Regione Emilia-Romagna, pur non ammettendo deroghe inerenti la diffusione di Fonti Energetiche Rinnovabili (FER), prevede sistemi compensativi alternativi per coprire la quota parte obbligatoria di energia prodotta da FER per la

produzione di acqua calda sanitaria, permettendo il ricorso a sistemi più efficienti, quali teleriscaldamento e impianti di micro-cogenerazione.

Il DGR n.1366/2011 introduce un'importante prescrizione contenuta nei punti 21 e 22 dell'Allegato 2. Vista l'importanza la si riporta in toto:

*Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del DPR 26 agosto 1993, n. 412, è fatto obbligo in sede progettuale di prevedere l'utilizzo di fonti rinnovabili a copertura di quota parte dei consumi di energia termica dell'edificio.*

*a) Nuova installazione di impianti termici o di ristrutturazione degli impianti termici in edifici esistenti: l'impianto termico e/o l'impianto tecnologico idrico-sanitario deve essere progettato e realizzato in modo da garantire la copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria;*

*b) Nuova costruzione o edifici sottoposti a ristrutturazioni rilevanti: l'impianto termico e/o l'impianto tecnologico idrico-sanitario deve essere progettato e realizzato in modo da garantire il contemporaneo rispetto della copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili,*

*1) del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e delle seguenti percentuali dei consumi di energia termica;*

*2) a. del 35% della somma dei consumi complessivamente previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento per richieste di titolo edilizio presentate dal 31 maggio 2012 e fino al 31 dicembre 2014;*

*2) b. del 50% della somma dei consumi complessivamente previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento per richieste di titolo edilizio presentate dal 1° gennaio 2015.*

*I limiti sono ridotti del 50% per gli edifici situati nei centri storici.*

*I limiti sono incrementati del 10% per gli edifici pubblici.*

*Gli obblighi non possono essere assolti tramite impianti da fonti rinnovabili che producano esclusivamente energia elettrica utilizzata per la produzione diretta di energia termica (effetto Joule) per la produzione di ACS, il riscaldamento e il raffrescamento.*

*Gli obblighi sono assolti anche:*

- *se viene installata una unità di micro- o piccola cogenerazione ad alto rendimento in grado di produrre energia termica a copertura di quote equivalenti dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento;*
- *nel caso di collegamento alle reti di teleriscaldamento;*
- *mediante la partecipazione in quote equivalenti in potenza di impianti di produzione di energia termica alimentati da fonti rinnovabili.*

#### *Allegato 2 – Punto 22*

*Per tutte le categorie di edifici (art. 3 DPR 26 agosto 1993, n. 412) è fatto obbligo di prevedere l'utilizzo di FER a copertura di quota parte dei consumi di energia elettrica dell'edificio.*

*A tale fine è obbligatoria l'installazione di impianti per la produzione di energia elettrica alimentati da FER, con caratteristiche tali da garantire il contemporaneo rispetto delle condizioni seguenti:*

*a) potenza elettrica  $P$  non inferiore a 1 kW per unità abitativa e 0,5 kW per ogni 100 m<sup>2</sup> di superficie utile energetica di edifici ad uso non residenziale;*

*b) potenza elettrica  $P$  installata non inferiore a:*

*•  $P = Sq / 65$ , richiesta del titolo edilizio dal 31 maggio 2012 al 31 dicembre 2014;*

*•  $P = Sq / 50$ , richiesta del titolo edilizio dal 1 gennaio 2015, dove  $Sq$  è la superficie coperta dell'edificio misurata in m<sup>2</sup>.*

Nel punto 23 si precisa che “il rispetto dei requisiti di cui ai precedenti punti 21 e 22 è condizione necessaria per il rilascio del titolo abilitativo”

#### **2.2.4. Metodologie di calcolo**

Nonostante la normativa italiana deleghi alle Regioni le competenze in materia energetica, le metodologie di calcolo nazionali sono unificate e fanno riferimento alle specifiche contenute alle UNI/TS del 28/05/2008 elaborate dal Comitato Termotecnico Italiano (CTI). Lo scopo prefissato è quello di fornire univocità di valori e consentendo la riproducibilità dei risultati e il loro confronto. Nello specifico la norma è composta da 4 parti:

Parte 1 (pubblicata a Maggio 2008 – Errata corrige 2010) – Definisce le modalità per l'applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790 del 2008 illustrando il metodo per il calcolo dei fabbisogni mensili di energia termica per il riscaldamento e per il raffrescamento. Descrive: il calcolo di progetto (design rating), la valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in condizioni

standard (asset rating) o in particolari condizioni climatiche e d'esercizio (tailored rating). Una delle parti più importanti riguarda l'aggiornamento dei dati e delle procedure di calcolo relativi ad apporti dovuti a ventilazione naturale e ricambi d'aria, apporti termici gratuiti dovuti a fonti di calore interne e al sole.

Parte 2 (pubblicata a Maggio 2008 – Errata corrige 2010) – Determina il fabbisogno di energia primaria dei rendimenti per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda (solare-termico, solare fotovoltaico, biomasse), di altri sistemi di generazione (cogenerazione, teleriscaldamento, pompe di calore elettriche e a gas).

Le prime due parti mostrano il fabbisogno termico di un edificio, che dipende dall'involucro dell'edificio, viene valutato come la differenza tra le perdite di calore durante il periodo invernale (di riscaldamento) e gli apporti termici gratuiti (solare e da fonti interne) nello stesso periodo, mentre il consumo di energia primaria è funzione anche dall'impianto installato. Per quanto riguarda il calcolo dell'impianto si devono conteggiare le dispersioni dovute al trasporto del calore e all'emissione di fumi caldi. Nel caso in cui la caldaia produca anche l'acqua calda sanitaria, è da includere anche il relativo fabbisogno energetico.

Parte 3 (pubblicata a Marzo 2010 – attualmente in revisione) – Determina il fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.

Questa parte specifica integra le prime parti fornendo indicazioni e ulteriori dati nazionali per l'utilizzo della normativa tecnica relativa al solare termico e in particolare della UNI EN 15316-4-3, tenendo conto delle normative UNI EN di prodotto consentendo lo svolgimento del calcolo in accordo delle prestazioni dei sottosistemi di produzione di energia solare con le parti 1 e 2 della UNI TS 11300.

Parte 4 (Pubblicata a Maggio 2012) – Descrive l'utilizzo di energie rinnovabili e di altre metodologie per la generazione della climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria. Tali documenti sono coerenti con le norme elaborate dal CEN nell'ambito del Mandato M/343 a supporto della Direttiva Europea 2002/91/CE sulle prestazioni energetiche degli edifici.

Scopo di questa norma è la definizione dei dati d'ingresso e delle modalità di calcolo per la determinazione del fabbisogno mensile di vettori energetici dei sottosistemi di generazione con pompe di calore per riscaldamento e/o produzione di acqua calda sanitaria e della quota di fabbisogno di energia utile della distribuzione a carico di sistemi di back-up, altri sistemi di generazione da calcolarsi con le pertinenti parti della stessa norma.

### **2.3. Esperienze innovative nel panorama nazionale ed internazionale**

Una parte della presente ricerca è stata dedicata alla visita di alcune cantine che, per diversi motivi, presentano aspetti innovativi nella produzione di vino e nel risparmio energetico. Le visite si sono svolte in cantine del centro e nord Italia e nella Napa Valley (California, USA). Nello specifico, in Italia si sono ricercate aziende che utilizzano locali interrati per la conservazione, l'invecchiamento o la fermentazione del prodotto, negli Stati Uniti si sono studiate alcune cantine che, producendo un vino di alta fascia, utilizzano sistemi innovativi nella produzione.

L'interramento dei locali per la conservazione del vino in Italia, è pratica abbastanza diffusa, quando la cantina ha una produzione di spumante seguendo il metodo classico, ovvero quando vi è una seconda fermentazione in bottiglia.

#### **Metodo Classico**

Il metodo classico o *méthode champenoise*, è un processo di produzione di vino spumante che prevede, oltre alla prima fermentazione, una seconda fermentazione in bottiglia dei vini ottenuta introducendo zuccheri e lieviti selezionati (*liqueur de tirage*). L'anidride carbonica generata dal processo di seconda fermentazione in bottiglia, garantisce al prodotto la pressione tipica del vino spumante (presa di spuma).

Dopo un periodo di riposo che può durare alcuni anni, avviene la fase del *remuage*: le bottiglie, collocate inizialmente in posizione orizzontale, vengono disposte su appositi cavalletti (*pupitre*) posizionando il collo della bottiglia verso basso; la bottiglia è soggetta a continue rotazioni manuali o meccanizzate permettendo alla fecce dei lieviti esausti di distaccarsi dalle pareti e depositarsi all'interno della bidule (tappo apposito per questa fase).

L'ultima fase della lavorazione è la sboccatura (*degorgement*) e consiste nel rimuovere il tappo e quindi le fecce in esso contenute. L'operazione, una volta eseguita manualmente, oggi consiste nel gelare il vino contenuto nel collo della bottiglia e, sfruttando la pressione all'interno della bottiglia, nel rimuovere il tappo. Oltre alla rimozione del tappo vi è una perdita di vino, quindi la bottiglia viene rabboccata con uno sciroppo di vino (a volte invecchiato) e zucchero (*liqueur d'expedition*). La quantità di zucchero della *liqueur d'expedition* determina le caratteristiche dello spumante, da *demi-sec* a *extra-brut*. Qualora la *liqueur* sia senza zucchero si ha uno spumante *pas dosé*, molto secco. In molti casi nella *liqueur* viene aggiunto del distillato per caratterizzare alcuni prodotti importanti, spesso riserve.

Infine la bottiglia viene chiusa utilizzando il tradizionale tappo a fungo con gabbietta metallica per evitare l'espulsione del tappo, infatti lo sviluppo di anidride carbonica dovuto alla fermentazione produce una pressione interna alla bottiglia che può raggiungere i 6,5 bar.

### **2.3.1. Italia**

#### **LA CANTINA ROTARI – Mezzocorona (TN)**

La cantina Rotari è di proprietà della cooperativa Gruppo Mezzacorona. Il Gruppo Mezzacorona é una cooperativa trentina fondata nel 1904 (anno in cui contava 3 soci) attualmente composta da 1700 soci proprietari di 2700 ha di terreni destinati a vigneto dislocati nella Provincia di Trento. Recentemente il Gruppo ha acquistato due tenute in Sicilia, Feudo Arancio e Villa Albius, che in totale forniscono uva prodotta su ulteriori 1000 ha.

La cooperativa possiede in Trentino 2 cantine: Rotari e Mezzacorona che hanno produzione annua rispettivamente di 3 milioni bottiglie di spumante metodo classico (cuvée chardonnay e pinot nero) e 40 milioni bottiglie di vino di diversi tipi.



**Figura 1 Rotari: la cantina**

Le cantine Rotari e Mezzacorona sono situate a Mezzacorona, pochi chilometri a nord di Trento, occupano un'area di due ettari dove in precedenza era situata un'azienda per la produzione di lame abrasive i cui processi rilasciavano nell'aria elevate emissioni di solfuri e silicati. Il primo concetto della progettazione è stato quindi il miglioramento ambientale, il quale è stato sviluppato realizzando un intervento su larga scala finalizzato alla riduzione dei problemi legati alla significativa parcellizzazione dei vigneti in quei luoghi. Il miglioramento che si voleva ottenere quindi era sì paesaggistico ma anche sociale ed economico. Il progetto fu affidato all'architetto Alberto Cecchetto e l'intervento iniziò nel 1999 operando in diverse fasi temporali, l'ultimo intervento eseguito è stato completato nel 2013. Il concetto, sviluppato dal gruppo di progettazione in concerto con la direzione della cooperativa, fu quello quindi di sfruttare al massimo l'interramento dei locali di vinificazione e conservazione operando un importante intervento di

integrazione paesaggistica godendo inoltre delle proprietà termiche del terreno per alcune fasi del processo di vinificazione. All'epoca fu ipotizzato un periodo di ritorno economico dell'investimento di circa 15 anni.

Il conferimento e le prime operazioni di pigiadiraspatura e pressatura per i bianchi avvengono al piano terra, dove sono ubicati anche i magazzini per le bottiglie, i cartoni e l'altro materiale, nonché il deposito dei vini imbottigliati. Tutte le altre fasi avvengono al piano interrato movimentando il vino attraverso dei vinodotti interrati.

La cantina antica della Rotari produce tre diverse varietà di spumante: la prima composta dal 90% di base chardonnay e 10% di pinot nero vinificato in bianco, una seconda in cui la percentuale di chardonnay scende al 70% ed infine lo spumante rosee in cui il pinot noir raggiunge il 90% nella miscela ed è vinificato in rosso.

#### *Locale di prima fermentazione*

Nel locale di prima fermentazione vengono conservate le basi dopo un periodo di decantazione di 12 ore. La fermentazione avviene in tini in acciaio termoregolati di dimensione variabile tra i 30.000 e 180.000 litri (vedi Figura 2). Le due basi spumante durante questa fase restano separate per un periodo di circa 5 mesi, trascorso il quale, verso febbraio-marzo, vengono miscelate, viene aggiunto il tirage ed infine la miscela viene imbottigliata per l'inizio della seconda fermentazione.



**Figura 2 Rotari: locale di prima fermentazione**

Il locale è interrato ad una profondità di circa 8 metri, al disopra della copertura vi è un strato di terra di spessore variabile da 1 a 3 metri, sopra il quale si trova un vigneto.

Tale scelta risponde ad esigenze paesaggistiche per una miglior inserimento della cantina nella campagna trentina, ad esigenze termiche in quanto fornisce un ulteriore isolamento sfruttando l'inerzia termica del terreno ed infine fornisce uva per la produzione del vino. Il vigneto installato non presenta la classica struttura a tegola trentina a causa della scarsa profondità del terreno. Una profondità maggiore, idonea all'impianto a tegola, avrebbe necessitato di un aumento nel dimensionamento della struttura portante ritenuto non sostenibile economicamente dalla proprietà. Una seconda caratteristica architettonica rilevante in questo locale, è l'ampiezza della superficie finestrata che garantisce un buon illuminamento limitando l'utilizzo della luce artificiale.

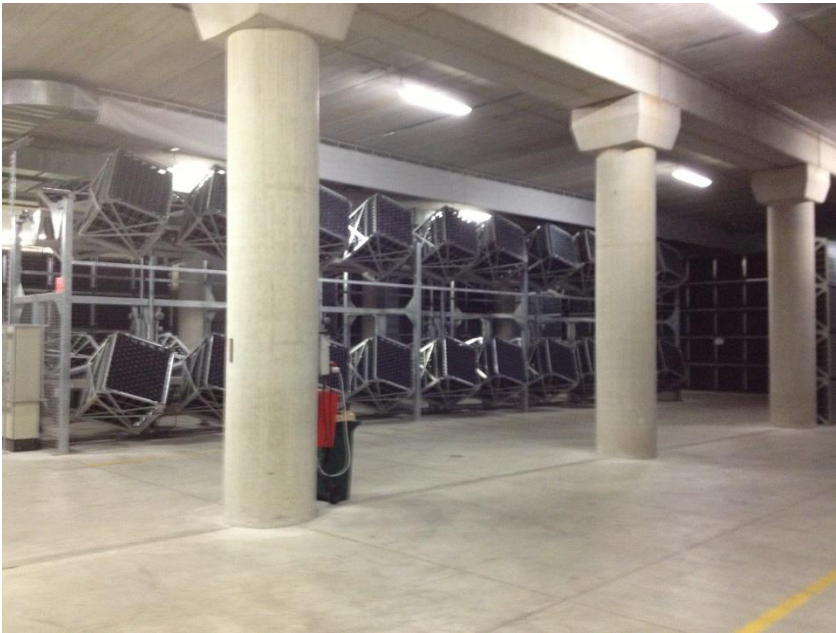
### *Sala imbottigliamento*

L'imbottigliamento avviene attraverso una catena di macchinari che processa fino a 10000 bottiglie l'ora, completando i 3 milioni di bottiglie della produzione annua in 2-3 mesi durante la primavera, restando inutilizzata per il restante periodo dell'anno. In questa fase le bottiglie vengono chiuse utilizzando un tappo speciale chiamato bidule fondamentale per le fasi successive del processo di vinificazione. Le bottiglie utilizzate hanno un vetro molto spesso ed un colore scuro per resistere meglio alle pressioni interne e ridurre il rischio dell'irraggiamento diretto.

### *Locale di stoccaggio*

In questo locale avviene la seconda fermentazione (vedi Figura 3). Una volta completato l'imbottigliamento le bottiglie vengono trasportate in questo locale e vengono disposte in posizione orizzontale per consentire la massima superficie di contatto tra il vino e i lieviti aggiunti durante l'imbottigliamento una volta depositati. Tale fase dura diversi mesi, da 24 a 60 a seconda della qualità del prodotto. Completata questa fase le bottiglie vengono disposte su palette speciali meccanizzate che contengono 504 bottiglie l'una e che inducono movimenti delle bottiglie finalizzati al distacco e alla raccolta dei lieviti. I movimenti delle palette agiscono su rotazione ed inclinazione delle bottiglie con movimenti ogni 8 ore. La posizione finale prevede il capovolgimento della bottiglia permettendo alla bidule di raccogliere i lieviti.

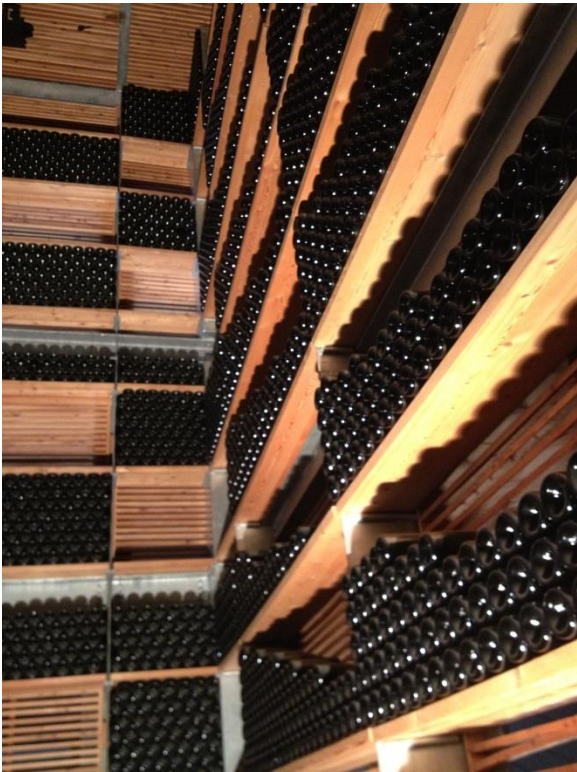




**Figura 3 Rotari: locale di seconda fermentazione**

Originariamente questa operazione veniva completata manualmente e durava circa un mese, la meccanizzazione del processo consente di ridurre la durata a 10 giorni e quindi di lavorare 80000 bottiglie a settimana, oltre a garantire un uniformità di trattamento su tutte le bottiglie.

Il locale è interrato ed è alla stessa quota del locale di prima fermentazione; in questo locale sono assenti le finestre. L'interramento ha eliminato la necessità del riscaldamento del locale, infatti la temperatura raramente scende sotto gli 11°C. Resta invece necessaria la presenza di un impianto di raffrescamento durante i mesi estivi, sebbene ne sia sufficiente un limitato utilizzo. La distribuzione dell'aria dall'impianto, avviene tramite l'immissione di aria fredda in tubi di cotone microforati posti sul soffitto che consentono un rilascio uniforme dell'aria; l'uniformità della temperatura infatti è ritenuta fondamentale per la buona maturazione dello spumante. Come detto la maturazione dello spumante avviene in bottiglia, pertanto il locale non necessita di alcun controllo sull'umidità. Gli impianti di riscaldamento e di controllo dell'umidità sono invece presenti in barricaia, dove una piccola quantità di spumante (6000 barrique in cui è maturato lo spumante per i rimbocchi e per la linea di maggior pregio) è conservata ad una temperatura prossima ai 20°C ed a un'umidità relativa del 90%. Terminato il processo di seconda fermentazione, le bottiglie vengono condotte al locale di sboccatura.



**Figura 4 Rotari: particolare del locale di degustazione**

#### *Locale di sboccatura*

Le bottiglie vengono portate nel locale di sboccatura dove viene congelata la parte di spumante contenuta nel collo della bottiglia. In questo modo si gelano anche i lieviti che sono raccolti nella bidule. Dei nastri trasportatori conducono le bottiglie, sempre in posizione verticale, verso la zona di congelamento; le bottiglie con il collo congelato vengono ruotate di 180° (raddrizzamento) e vengono stappate automaticamente; la parte congelata, grazie alla pressione interna della bottiglia (4-5 bar), verrà espulsa insieme ai residui solidi di fermentazione. Di seguito avviene il rabbocco e viene aggiunto il liqueur d'expédition. All'interno dello stesso locale le bottiglie vengono tappate con il classico tappo a fungo e vengono poi etichettate ed inserite nel cartone pronte per la spedizione.

### **BARONE PIZZINI – Provaglio d'Iseo (BS)**

#### *La Franciacorta*

La Franciacorta è un territorio importante per la produzione vitivinicola italiana, infatti in essa viene prodotto il 30% dello spumante metodo classico in Italia. I motivi di una produzione così importante risiedono nel clima e nel territorio.

Il territorio è collinare esteso per 240 km quadrati con elevazioni massime di 400 metri. La conformazione del terreno, sassoso e drenante, è ideale per la produzione di chardonnay che

rappresenta il 90% della produzione vitata in Franciacorta, la restante produzione si divide in pinot nero e pinot grigio. La vicinanza al lago d'Iseo, il quale funge da volano termico, è di fondamentale importanza per la creazione di un micro clima temperato che genera limitate escursioni termiche. Altrettanto importanti sono inoltre i monti circostanti che riparano l'area dai venti freddi.

### *L'azienda*

In Franciacorta vi sono 140 aziende consorziate. La Barone Pizzini fu fondata nel 1870 dai Pizzini, famiglia di origine asburgica. I Pizzini, giunsero in Franciacorta da Rovereto e fondarono l'Amministrazione Agricola Barone Pizzini. Il capostipite fu il Barone Giulio Pizzini Piomarta Von Thurberg (1847 - 1911). Nel 1931 il Barone Edoardo Pizzini Piomarta Delle Porte (1882 - 1966) iscrive l'azienda presso il Registro delle Imprese della Camera di Commercio di Brescia. Successivamente, nel 1962, il Barone Giulio Pizzini Piomarta dalle Porte (1916 - 1995) è tra i primi dieci firmatari dell'atto costitutivo del Consorzio per i vini tipici bresciani oggi Ente Vini Bresciani. Quando nel 1967 la Franciacorta viene riconosciuta come zona a denominazione di origine controllata. La Barone Pizzini è tra i primi produttori iscritti. Nel 1991 vengono coinvolti nella proprietà alcuni imprenditori legati al mondo enologico locale. Si fondano le basi dell'attuale azienda agricola con l'intenzione di porre al centro dell'attenzione le persone, l'ambiente e il territorio. Nei primi anni del 2000 l'azienda investe in altri territori: a Scansano in Maremma e a Maiolati Spontini nelle Marche dei Castelli di Jesi. Alla fine del 2001 tutti i vigneti in Franciacorta hanno ottenuto la certificazione dell'agricoltura biologica. Nel 2007 vi è l'inaugurazione della nuova cantina costruita secondo importanti criteri di bioedilizia. Nel 2009 nella tenuta marchigiana Pievalta, Demeter certifica le uve da viticoltura Biodinamica. Dal 2010 introducono nelle etichette la scritta RESIDUO ZERO per evidenziare che vini prodotti dalla Barone Pizzini non sono riscontrabili residui di diserbanti chimici e pesticidi di sintesi. Nel 2011 vi è l'adesione al "Progetto Ita.Ca " finalizzato a ridurre i gas serra delle aziende vitivinicole. Da luglio 2013 è entrata in vigore la certificazione biologica per il vino.



**Figura 5 Barone Pizzini: la cantina**

### *I Vigneti*

L'estensione totale dei terreni coltivati a vigneto, è di 47 ettari divisi in 25 particelle dislocate nei comuni di Provaglio d'Iseo, Corte Franca, Adro e Passirano. L'altitudine media è di 200 m.s.l.m, gli impianti hanno un'età media di circa 15 anni eccezion fatta per i vigneti destinati alla produzione di uve per il Satèn il Bagnadore che hanno un'età di 20 anni. La crescita delle vigne è favorita dalle condizioni climatiche tipiche della Franciacorta, l'azienda inoltre ha sposato la filosofia di un'agricoltura bio facendo crescere la pianta attraverso l'adozione della sostanza organica a supporto della fertilità e impiegando zolfo e rame per il contenimento dei parassiti.

### *La cantina*

La nuova cantina è stata inaugurata nel 2007 (vedi Figura 5) e si trova in località San Carlo nel comune di Provaglio d'Iseo, sorge in mezzo alle colline vitate della Franciacorta e nei pressi della riserva naturale delle Torbiere del Sebino, nelle prossimità del complesso del Monastero cluniacense di San Pietro in Lamosa. La costruzione ha seguito criteri di architettura ecocompatibile, coniugando il rispetto ambientale con la qualità del vino. Le scelte architettoniche, funzionali e dei materiali impiegati, sono state pensate per garantire il minor impatto ambientale possibile e conseguentemente un minor consumo energetico. Oltre a soluzioni classiche per il risparmio energetico come ad esempio il ricorso a pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica, nella cantina è presente un sistema naturale di condizionamento formato da tubi interrati nei quali si innescano moti di convezione naturale dell'aria utilizzati per la climatizzazione dei locali in cui è conservato il vino. I materiali principalmente utilizzati sono pietra e legno. È stato inoltre inserito un impianto di fitodepurazione delle acque.

Si riportano le parole del progettista della cantina l'architetto Claudio Gasparotti:

*"Una cantina è un poco come un albero. Nel senso che ne vediamo solo una parte, il resto è interno alla terra, radicato. Le porzioni dell'albero nascoste gli danno alimento e lo spingono verso l'alto. Nella parte della cantina che sta dentro la terra, troviamo la ragione del suo mostrarsi fuori del suo essere edificio, architettura. Da questa sua postura nascosta, quasi pudica, derivano la sua energia, la sua freschezza e la sua vivacità, catturate alla terra e donate ad una bevanda della terra e dell'uomo: il vino. Atteggiamenti, materiali e tecnologie leggere impiegate per testimoniare le proprie idee e la coerenza del cammino che la Barone Pizzini sta percorrendo, legata alla propria terra e rispettosa del territorio."*

#### *La produzione*

La Barone Pizzini produce spumante "Franciacorta", il quale deve seguire un disciplinare specifico basato sul metodo classico. La cantina per il proprio vino utilizza solo due basi: chardonnay e pinot nero. Il disciplinare interno, che si aggiunge al disciplinare Franciacorta, prevede rese basse nei vigneti con un massino di 100 quintali per ettaro, la vendemmia è completamente manuale e occupa un periodo che inizia circa il 15 agosto con lo chardonnay e termina il 15 settembre con il pinot. L'uva viene trasportata in cassette che contengono fino ad un massino di 15 kg di uva per evitare che il peso eccessivo della frutta provochi una prima spremitura, successivamente viene vinificata in poche ore. Il conferimento alla Barone Pizzini avviene in un'area esterna, mentre le prime fasi della lavorazione e la prima fermentazione avvengono nella parte seminterrata della cantina, il cui piano di lavoro inferiore è posto 6 metri sotto il livello del terreno (vedi Figura 6). La pressatura è operata con l'utilizzo di due presse ed avviene senza diraspatura. La prima pressatura è molto soffice e da questa si estrae il mosto fiore per i millesimati e la riserva. Gli altri mosti sono utilizzati per la produzione degli altri vini. I mosti vengono lasciati depositare per una notte in tini piccoli alla temperatura di 10 gradi per bloccare la fermentazione. Le particelle solide si depositano e a questo punto avviene una prima pulitura. Poi si passa a cisterne più grandi, sempre in acciaio, per la prima fermentazione alcolica.





**Figura 6 Barone Pizzini: il locale di vinificazione**

Durante questa fase avviene la cattura dell'anidride carbonica di fermentazione. Successivamente le basi vengono affinate, separatamente per vino e vigneto, una parte in cisterne temoregolate e una parte in barrique francesi da 225 litri con un massimo di quarto passaggio. Questo periodo dura circa sei mesi e il primo febbraio, come da disciplinare, vengono prelevate le basi per formare le cuvée. In questa fase è fondamentale il ruolo dell'enologo, il quale, per l'assemblaggio delle cuvée, può attingere da 47 basi differenti per formare i 5 tipi di vino prodotti dalla Barone Pizzini. La maturazione in barrique e la seconda fermentazione avvengono in un locale completamente interrato posto al di sotto del locale di prima fermentazione, precedentemente descritto, il cui piano di lavoro è a circa 10 metri sotto il livello del suolo (vedi Figura 7). Questa parte di struttura, grazie alla collocazione sotterranea e al sistema di condizionamento naturale descritto in precedenza (vedi Figura 8), conserva una temperatura compresa fra gli 8 e i 10°C e un'umidità dell'80%. Mediamente in questo locale sono conservate circa due milioni di bottiglie.

La seconda fermentazione o presa di spuma, avviene in bottiglia per un periodo che varia dai 18 mesi per i sans année fino ai 60 mesi per i riserva. In questo momento la bottiglia è tappata con la bidule per raccogliere i lieviti prima della sboccatura.



**Figura 7 Barone Pizzini: il locale di seconda fermentazione**

Terminato il periodo di affinamento, le bottiglie vengono poste su appositi cavalletti (pupitres), ruotate giornalmente di  $1/8$  di giro e inclinate progressivamente per veicolare il sedimento con i lieviti verso il collo della bottiglia entro 3-4 settimane. Questa particolare rotazione prende il nome di scuotitura o remuage ed è praticata da personale specializzato. Negli ultimi anni, anche in questa cantina, l'operazione avviene anche tramite l'ausilio meccanico di un girapallet. A questo punto il vino ha una pressione superiore alle sei atmosfere. Terminato il periodo della seconda fermentazione, avviene la sboccatura: le bottiglie sono poste in posizione verticale con il collo immerso in una soluzione refrigerante che porta alla formazione di un "tappo" di ghiaccio, intrappolando completamente il deposito di lieviti. A questo punto il tappo metallico viene rimosso e il residuo ghiacciato, grazie alla pressione interna, viene violentemente espulso con una minima perdita di vino. Per riportare il volume al livello iniziale si introduce solo una piccola quantità di vino nel caso dei Franciacorta non dosati, mentre per gli altri si aggiunge lo "sciroppo di dosaggio" composto da vino base Franciacorta e zucchero in quantità differenti a seconda della tipologia delle varietà dei Franciacorta, Brut o Extra Brut.



**Figura 8 Barone Pizzini: la cantina e le prese di aerazione**

Al termine della procedura il vino raggiunge un titolo massimo di 12,5 gradi e si applica il tappo a cilindro in sughero. In questa fase avviene un'ultima maturazione per altri due mesi circa. Per essere definito spumante, dovrà possedere una pressione maggiore 3,5 atm (con eccezione del Saten). Terminato il confezionamento, prima della commercializzazione, su ogni bottiglia è applicato il contrassegno che certifica la designazione DOCG del Franciacorta a riprova che il vino ha superato tutti i controlli qualitativi: dall'analisi chimico-fisica a quella organolettica. Su questo sigillo sono stampati il nome della Denominazione di Origine Controllata e Garantita Franciacorta, un codice alfanumerico univoco, l'indicazione della capacità della bottiglia e il logo distintivo della Denominazione, la "F merlata".

La produzione annua varia da 200 a 350 mila bottiglie a seconda della produzione dei vigneti e delle esigenze del mercato. Il vino viene commercializzato principalmente in Italia e per il 70% nella ristorazione. Il resto è venduto in nord Europa: Germania e Inghilterra, una minima parte in America.

### **DOMODIMONTI – Montefiore dell'Aso (AP)**

L'azienda Domodimonti è situata nelle Marche, dispone di 35 ettari coltivati a vigneto su un terreno fortemente collinare con circa 4000 piante per ettaro ed una resa volutamente bassa di circa 60-70 quintali per ettaro. Vengono prodotti 6 tipi di vino: 4 rossi e 2 bianchi. La vendemmia, prevalentemente manuale, parte solitamente dal 15 agosto e termina circa a fine ottobre. La quantità di uva che può lavorare la cantina è calibrata per giorni tipici di conferimento. Quando l'uva conferita supera la quantità massima giornaliera, le uve vengono stoccate all'interno di celle frigorifere in collaborazione con una ditta ortofrutticola che fornisce le celle. L'azienda sta



valutando la possibilità di dotarsi di celle proprie o in alternativa di vendemmiare con un doppio turno di lavoro che assicurerebbe la vendemmia dalle 5 alle 21 dei giorni più intensi raddoppiando la quantità giornaliera di uva lavorabile.



**Figura 9 Domodimonti: la cantina**

Per la produzione nel vigneto, l'azienda si è dotata di un disciplinare che mira ad una produzione di qualità al quasi annullamento del residuo degli agrofarmaci ed alla riduzione del rame.

La cantina è di recente costruzione, completata nel 2007 (vedi Figura 9) prevede un locale per la vinificazione e stoccaggio, un locale per la conservazione, un locale per imbottigliamento e stoccaggio delle bottiglie, uffici tecnici amministrativi, un locale macchine e un volume interrato non ancora utilizzato per il futuro ampliamento della cantina stessa.

La struttura è costruita in un terreno collinare e si assesta su vari livelli. Il conferimento delle uve avviene in un'area esterna, nel punto più alto della struttura in un'area coperta da una tettoia su cui sono installati dei pannelli fotovoltaici. La pressatura ed un primo stoccaggio delle uve avvengono in quest'area, successivamente il mosto viene trasportato per gravità al locale di vinificazione (vedi Figura 6) con l'aiuto di una pompa peristaltica. La scelta di questo tipo di pompa è stata dettata dalla necessità di non stressare eccessivamente le uve e quindi finalizzata al miglioramento della qualità del vino rosso. La vinificazione avviene all'interno di tini in acciaio o legno a seconda della linea di produzione. Questi ultimi sono utilizzati anche come vasi di stoccaggio con la precauzione di tenerli sempre con un livello minimo di vino al loro interno per evitare i problemi di dilatazione del legno dovuti all'umidità.

La temperatura di conservazione del mosto e del vino all'interno dei vasi è sempre controllata attraverso un sistema centralizzato a temperature comprese fra i 15 e i 20 gradi a seconda del tipo di vino. Tutti i vasi in questa area sono dotati di termoregolazione. L'area centrale del locale ospita un mezzanino con i primi vasi acquistati i quali sono dotati di una “cintura” di raffreddamento ai tre quarti dell'altezza complessiva del vaso, la quale massimizza la sua funzione quando il vaso raggiunge limiti prossimi alla capacità massima del vaso. Per questa ragione, questi vasi sono stati destinati successivamente al vino di stoccaggio.



**Figura 10 Domodimonti: il locale di vinificazione**

Come detto, la cantina è disposta su più livelli seguendo il naturale declivio collinare, questa soluzione consente una drastica riduzione dei consumi elettrici necessari al controllo delle temperature grazie al parziale, o per alcuni locali totale, interramento.

Il filtraggio del prodotto avviene tramite un impianto ad azoto, un gas inerte che consente una maggior stabilità ed una minor ossidazione del prodotto durante l'operazione rispetto alla decantazione o ad altri sistemi. L'azoto è convogliato da un impianto di produzione con capacità di 500 mc attraverso tubazioni in acciaio all'interno della cantina. I tini sono lavati con soda e acido citrico.

Dopo la vinificazione il vino passa nel locale di conservazione (vedi Figura 11) nel quale sono contenute barrique francesi da 225 l. i vini di Premium Class vengono conservati dagli 8 ai 10 mesi mentre la linea di Entrée ha solo un rapido passaggio. Complessivamente vengono conservati 400 hl

di vino e l'ambiente ha temperatura ed umidità relativa tali, 15°C e 70-80%, che le perdite non superano i 400 litri annui ovvero l'1%. L'aria è convogliata per mezzo di 15 bocchette in ingresso ed un'unica grande presa in uscita. L'aria viene così ricambiata in maniera diffusa e graduale, in questo modo la zona della barricaia interessata da instabilità termica è limitata e nella stessa non vengono poste barrique.



**Figura 11 Domodimonti: la barricaia**

L'imbottigliamento avviene in un locale attiguo al locale di vinificazione, in questa stanza vi è un impianto di climatizzazione. Oltre ad essere garantito il benessere termoigrometrico degli operatori, in questo modo il prodotto, la bottiglia e l'etichetta sono alla stessa temperatura prevenendo ogni tipo di problema derivante da shock termici tra cui, muffe o più semplicemente distacchi delle etichette. Lo stesso locale è inoltre usato per lo stoccaggio del vino imbottigliato.

La chiusura avviene attraverso tappi di sughero certificati e comunque controllati a campione. L'utilizzo di questo tipo di tappo segue l'idea della tradizione che si vuole dare al brand. Nei paesi nordici viene preferito il tappo a vite e l'azienda sta pensando ad una linea di chiusura di questo tipo qualora il mercato dell'Europa del Nord diventasse obiettivo dell'azienda. In questo momento questa soluzione è valutata troppo costosa (costo dell'impianto circa 25.000 euro).

L'acqua utilizzata per l'intero processo è nel rapporto variabile da 1:3 a 1:1 volume di acqua su volume di vino, la maggior parte della quale è destinata alle operazioni di imbottigliamento).

Gli impianti per il raffrescamento sono due: uno per la climatizzazione degli ambienti e uno per quella dei vasi.



Attualmente la cantina produce circa 100.000 bottiglie all'anno. Essendo presente sul mercato da pochi anni, l'azienda sta attendendo le risposte del mercato per poter organizzare lo spazio vuoto esistente già costruito. Il locale in questione è interrato e posto al di sotto di uno spiazzo carrabile, esso sarà probabilmente destinato alla vinificazione. Esso ha già delle aperture per il carico diretto dall'alto del mosto. Una volta completata la sua realizzazione, la cantina raggiungerà la produzione a regime, ovvero a 250.000 bottiglie l'anno

### **2.3.2. Stati Uniti d'America**

Il periodo di studio svolto negli Stati Uniti presso il Dipartimento di Viticoltura ed Enologia dell'Università della California di Davis, da ottobre 2012 a marzo 2013, mi ha consentito di studiare approfonditamente l'innovativa cantina didattica dell'Università ed inoltre di visitare numerose cantine che eccellono nell'ambito della produzione del vino di qualità. Le cantine visitate sono situate nella Napa Valley, regione nella quale si concentrano alcune cantine tra le più famose degli Stati Uniti. Si riporta qui un breve riassunto, descrittivo e fotografico, delle cantine visitate durante il periodo di ricerca svolto presso UC Davis.

#### **Palmaz**

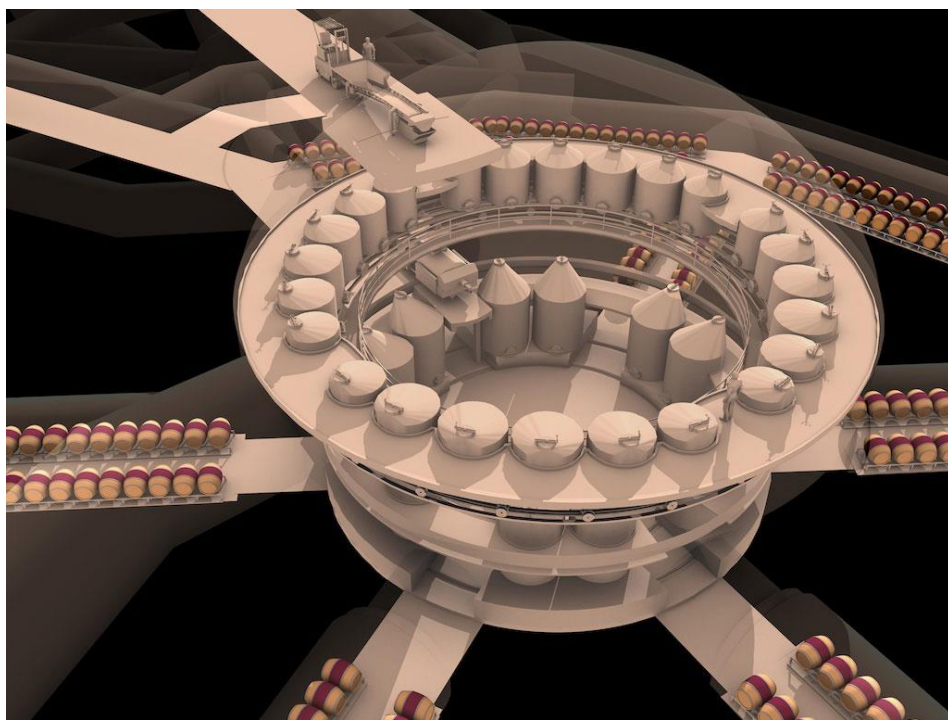
L'edificio progettato dall'architetto John Wall, (vedi Figura 12) è stato realizzato su più livelli interrati sfruttando le elevate pendenze del sito di costruzione, presenta un sistema di produzione unico nel suo genere.



**Figura 12 Palmaz: la cantina**

Il conferimento avviene nella parte più alta della struttura, l'unica fuori terra. In questa zona vi sono gli uffici, una sala degustazione con cucina e un museo di Porsche da competizione. I restanti spazi per la produzione del vino sono situati in quattro livelli interrati dove la movimentazione del prodotto avviene unicamente per gravità.

Il cuore della cantina è un'ampia sala interrata, chiamata "fermentation dome" (vedi Figura 14), la cui forma cilindrica presenta un diametro 21 metri e si sviluppa in altezza per 17 metri occupando i quattro livelli interrati della cantina. La cantina Palmaz ha una produzione annua di 25.000 casse di vino (equivalenti a 2200 hl) con vasi da 1400, 1700 e 1800 galloni (5500 – 7000 litri). Per l'invecchiamento sono presenti 240 barrique da 225 l che trovano collocazione in sei gallerie scavate nella roccia (vedi Figura 13).

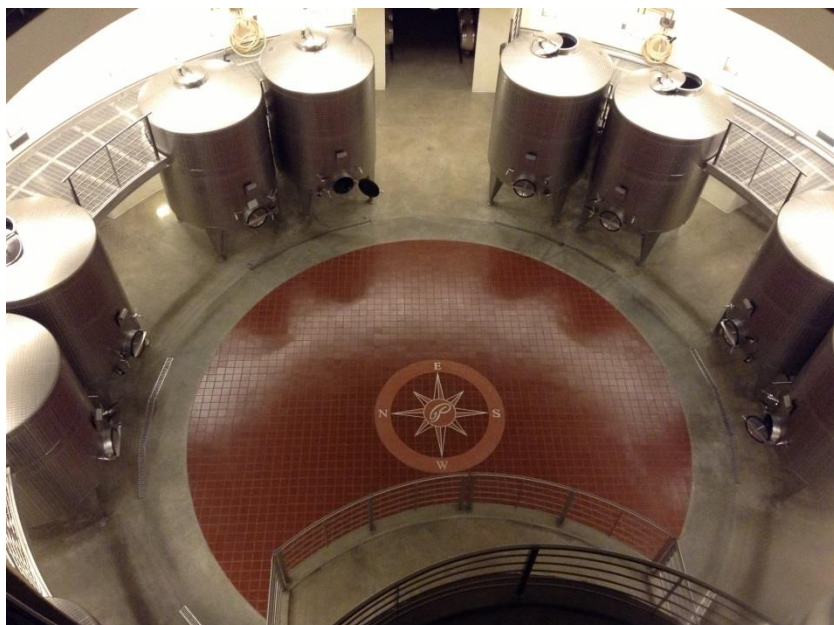


**Figura 13 Palmaz: modello 3d**

Nel livello più alto è collocata la pigiadiraspatrice, collegata tramite dei nastri trasportatori alla zona di conferimento situata all'esterno. Nel livello immediatamente inferiore si trovano i fermentini, in un mezzanino è collocata la pressa ed infine nella parte più bassa della struttura si trova un altro livello di vasi. Da questo livello si sviluppano radialmente sei tunnel destinati alla fase di invecchiamento in barrique.

Al di sotto delle zone descritte in precedenza, si trovano disposte in linea, l'area per l'imbottigliamento, il magazzino e la zona di consegna e spedizione del prodotto, la quale si affaccia all'esterno ai piedi della collina.

La caratteristica più suggestiva riguarda i fermentini del secondo livello. L'uva pigiata e diraspata al livello superiore è immessa nei vasi del livello inferiore in un unico punto, per evitare stress al prodotto non è previsto l'uso di pompe, per cui i fermentini sono collocati su un sistema meccanizzato su binari che consente la rotazione del blocco dei fermentini di tutto il livello, conseguentemente ogni vaso al momento del suo riempimento, si troverà esattamente sotto il punto di imbocco, riducendo al minimo la distanza che dovrà percorrere l'uva e quindi il relativo stress.



**Figura 14 Palmaz: Fermentation Dome**

## **Opus One**

La cantina Opus One nasce da un'idea di due pionieri del vino di produzione americana: Robert Mondavi e il Barone Philippe de Rothschild.



**Figura 15 Opus One: la cantina e i vigneti**



L'idea dei due fondatori era quella di immettere sul mercato un vino di qualità eccezionale. Questa idea di unicità ed eccezionalità è riscontrabile sia nella produzione, un'unica varietà di vino rosso e nell'architettura, un'opulente struttura che voleva ergersi, nell'idea del progettista Scott Johnson, come il tempio del vino (vedi Figura 15).

La cantina produce 25.000 casse all'anno (2200hl). L'uva, raccolta con vendemmia manuale, viene conferita in casse di piccole dimensioni e viene trasportata tramite un sistema meccanizzato all'interno dell'edificio al primo piano. Lì avviene la pigiadiraspatura e l'uva pigiata viene immessa nei fermentini, posti al piano inferiore (vedi Figura 16), per gravità attraverso delle botole collocate al livello del pavimento. Durante questa fase vi è una grandissima attenzione alla provenienza dell'uva, infatti tutto il prodotto viene suddiviso in base al vigneto di provenienza. Questa attenzione rende più precisa una selezione qualitativa del prodotto e permette di valutare anche la qualità del vigneto.



**Figura 16 Opus One: il locale di vinificazione**

Il vino, ottenuto dopo la pressatura viene invecchiato in barrique in una sala semicircolare interrata dotato di un precisissimo sistema di controllo termoigrometrico (vedi Figura 17).



Figura 17 Opus One: la barricaia

## Quintessa

La cantina Quintessa dispone di circa 80 ettari di vigneti che le consentono una produzione annua di circa 5000hl. L'edificio occupa un'area di 1700 m<sup>2</sup> si trova vicino alla strada nazionale ed è ai piedi di una collina (vedi Figura 18), la struttura consente l'accesso ai mezzi motorizzati alla zona di conferimento che è posta sul tetto. Le prime lavorazioni avvengono in questa zona protette da tettoie rimovibili. Il pigiato viene immesso per gravità nei fermentini posti nel locale sottostante tramite delle botole posizionate nel solaio. La dimensione dei tini è limitata per evitare la formazione di un cappello troppo spesso all'interno del vaso.



Figura 18 Quintessa: la cantina



La caratteristica principale di questa cantina è la tecnologia, infatti un sistema ottico di pigiadiraspatura può gestire fino a 40 tonnellate di uva conferita al giorno, e quindi di esaurire le 1000 tonnellate di uva conferita in un periodo inferiore ai 20 giorni prevedendo turni lavorativi che coprono 18 – 20 ore giornaliere. Tutto il vino prodotto viene poi conservato in barrique poste in grotte scavate all'interno della roccia (vedi Figura 19). Complessivamente le grotte hanno una lunghezza di 400 metri ed ospitano 3000 barrique.



**Figura 19** Quintessa: la barricaia

## **Cade**

La cantina Cade è stata costruita su un versante di collina che si affaccia sulla Napa Valley, la sua produzione è di 15.000 casse di vino (1350 hl) occupa un'area di 1500 m<sup>2</sup>. La proprietà, Gavin Newsom e Gordon Getty, hanno voluto creare una cantina un vino di elevata qualità nel rispetto dell'ambiente. La zona di invecchiamento è stata scavata all'interno della collina e nel 2009 l'edificio ha ottenuto la certificazione LEED Gold (vedi Figura 20).



**Figura 20 Cade: la sala di vinificazione**

## **Ovid**

Questa cantina ha una produzione annua decisamente inferiore alle cantine descritte in precedenza, infatti i sette ettari di vigneto producono circa 1000 casse all'anno (90 ettolitri). La produzione quindi può permettersi di non seguire protocolli stabiliti ma è tutto deciso sul momento. Le attività di vendemmia e vinificazione, infatti, non seguono un calendario preciso ma vengono adattate ogni anno alla situazione contingente.



**Figura 21 Ovid: la sala degustazione**

L'edificio è situato su una collina, (vedi Figura 21 e Figura 22) il conferimento e pigiadiraspatura avvengono in un piazzale esterno a livello del piano terra e il pigiato viene convogliato all'interno dei vasi del piano interrato per gravità attraverso delle finestre apribili realizzate sul fianco dell'edificio. La fermentazione avviene all'interno di 12 vasche in cemento e 4 in legno, circa il 15% del prodotto viene affinato in barrique all'interno di un locale scavato nella collina e direttamente collegato alla sala di vinificazione.



**Figura 22 Ovid: la cantina**

## **UC Davis Winery**

L'università di Davis, California (USA), fa parte del complesso delle università statali University of California (tra cui UCLA e Berkeley). Fondata nel 1880 come dipartimento di agricoltura della vicina università di Berkeley, è diventata autonoma nel 1954. Tra i dipartimenti più importanti vi è il Dipartimento di Viticoltura ed Enologia, il quale comprende 14 membri di facoltà ed ospita 100 studenti undergraduated (equivalente a studenti di laurea triennale) 40 studenti graduated (laurea magistrale).

La cantina dell'università di Davis, è stata inaugurata a fine 2010 presso la University of California Davis, all'interno del Robert Mondavi Institute (vedi Figura 23), struttura che ospita i dipartimenti di Viticoltura ed Enologia e di Scienze Alimentari dell'università.





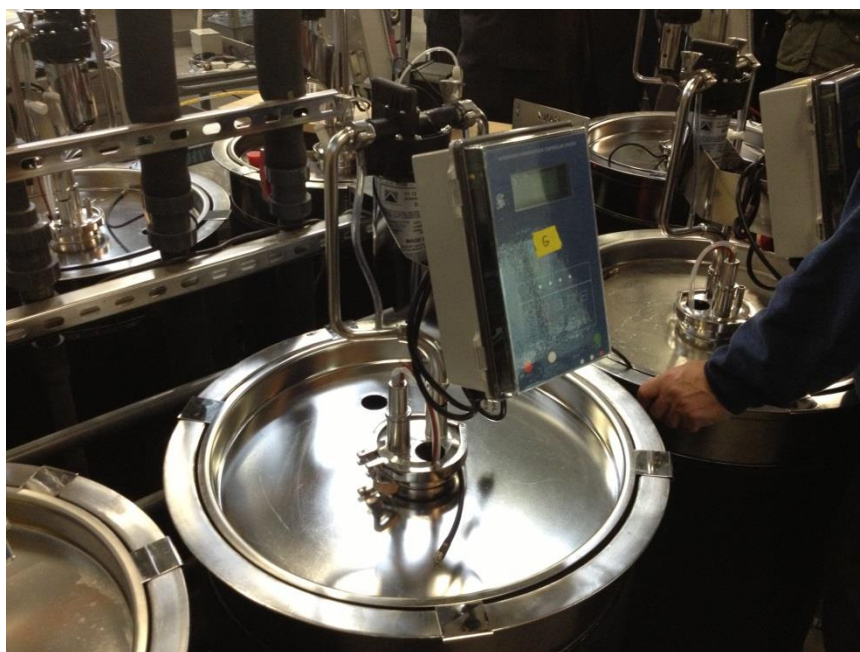
**Figura 23 Robert Mondavi Institute: vista dell'istituto. A sinistra la cantina**

La costruzione è stata completata nel mese di luglio per essere operativi per la vendemmia 2010. L'istituto RMI, inaugurato nel 2008, comprende tre edifici accademici che ospitano il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Alimentari e il Dipartimento di Viticoltura ed Enologia (costo complessivo del progetto 73 milioni di dollari per 13.000 metri quadrati, finanziato da una combinazione di fondi statali e privati).



**Figura 24 Davis Winery: interno della cantina**

Il complesso di cui la cantina fa parte è un centro di insegnamento e ricerca di circa 3400 metri quadrati che comprende, oltre la cantina, un birrificio ed un centro per la trasformazione degli alimenti. Quella di Davis è stata la prima cantina ad aver ottenuto la certificazione LEED Platinum, il più alto rating ambientale assegnato dal US Green Building Council (LEED acronimo di Leadership in Energy and Environmental Design). Il complesso è destinato a diventare auto-sostenibile, dal punto di vista energetico ed idrico, una volta completata l'impiantistica nel Jesse Jackson Sustainable Building (vedi paragrafo seguente).



**Figura 25 Davis Winery: sistema wireless per il controllo della vinificazione**

Il complesso si sviluppa in un piano fuori terra, l'ala sud ospita il Busch III Brewing and Food Science Laboratory, che comprende: una fabbrica di birra, un impianto generale per la lavorazione di alcuni prodotti alimentari (pomodori, olive) e un laboratorio di trasformazione del latte. Nell'ala nord del complesso è collocata la nuova cantina per l'insegnamento e la ricerca.

È importante rimarcare che il complesso è stato finanziato interamente da donazioni private, nessun fondo statale o federale è stato utilizzato nella sua progettazione e costruzione. Esso è stato progettato da un team di architetti, ingegneri e costruttori, tra cui BNB Norcal di San Mateo, Flad Architects di San Francisco, FM Booth, Red Top, KPW ingegneri strutturali, HLA Landscape Architects. Adiacente al complesso si trova il nuovo vigneto didattico che occupa una superficie di circa 6 ettari (vedi Figura 26).



**Figura 26 RMI: vista del complesso e della cantina (edificio sulla destra)**

Il coordinatore del progetto, professor Roger B. Boulton del Dipartimento di Viticoltura ed Enologia dell'Università di Davis, ha voluto, con questo progetto, dimostrare che è possibile creare una cantina autosufficiente in qualunque parte del mondo dimensionando opportunamente i sistemi di produzione di energia e recupero delle acque piovane.

Altre caratteristiche ecocompatibili, all'interno dell'edificio, includono il massimo utilizzo della luce naturale, celle fotovoltaiche posizionate sul tetto per fornire tutta la potenza utilizzata dalla struttura a carico di picco, nuove attrezzature di trasformazione alimentare che riducono al minimo il fabbisogno energetico e di acqua, uso di vetro riciclato nella pavimentazione (in alcuni casi sono state utilizzate bottiglie frantumate), rivestimenti interni riciclati (tra cui parti di un acquedotto in legno del 1928) e l'uso di legname raccolto da operazioni forestali sostenibili certificate.

Fiore all'occhiello della cantina, è il primo sistema al mondo wireless per la gestione della fermentazione del vino, un sistema tecnologico valutato in circa 1 milione di dollari utilizzato nei 152 fermentini, progettato, fabbricato e donato da un team di ingegneri guidato da TJ Rodgers, fondatore e presidente della Cypress Semiconductor di San Jose, California (vedi Figura 24). Ciascuno dei fermentini, con capacità di 200 litri, realizzato in acciaio inox elettro-lucidato, è singolarmente dotato di controllo automatico della temperatura e di un sistema per gestire il processo di rimontaggio, controllando così due dei fattori più importanti che influiscono nelle caratteristiche finali e nella qualità del vino (vedi Figura 25).

Tra gli altri dati registrati, il sistema analizza ogni quindici minuti i dati relativi alla concentrazione dello zucchero nelle fermentazioni sia in bianco sia in rosso con una precisione di 0,25°B.

Un aspetto molto importante di questo progetto didattico, in cui tutti i prodotti lavorati, anche se finalizzati alla ricerca sono commestibili, è l'aspetto dei finanziamenti, infatti decine di donatori privati hanno contribuito fondi per rendere il nuovo complesso una realtà contribuendo nel complesso con 20 milioni di dollari, con un processo iniziato con un contributo di 5 milioni nel

2001 da parte di Robert Mondavi, seguito nel 2002 da un impegno di altri 5 milioni di dollari dalla Fondazione Anheuser-Busch.

Altre donazioni importanti sono state fatte da Ronald e Diane Miller e da un gruppo di partner tra cui Jess Jackson e sua moglie Barbara Banke della Kendall-Jackson Wines e Jerry Lohr della J. Lohr Vineyards & Wines. Questo gruppo di partner ha assicurato i fondi necessari per progettare e costruire la struttura rispondente agli standard LEED Platinum .

Inoltre aziende per la trasformazione di pomodori della California e coltivatori hanno contribuito con oltre 2,5 milioni dollari per l'impianto pilota di trasformazione alimentare, riconoscendo il ruolo importante che il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Alimentari ha giocato nel settore e il potenziale futuro per la formazione di studenti e condurre ricerche presso il nuovo complesso. L'azienda Mornign Star Packing con base a Woodland (a pochi chilometri da Davis), ha donato 1 milione di dollari per l'impianto di trasformazione alimentare. A questi fondi si sono aggiunti quelli forniti da oltre 150 individui tra cui ex alunni, società e fondazioni.

L'aspetto importante di questo processo di finanziamento è la stretta connessione tra azienda e università. Le aziende contribuiscono alla creazione di un centro di ricerca che sarà utilizzato anche dalle stesse aziende per la propria ricerca ed esso sarà al contempo un centro didattico per la formazione di studenti.

### **Jesse Jackson Sustainable Building**

Nel maggio 2013, è stato inaugurato Il Jesse Jakson Suistainable Building presso la University of California a Davis, (USA) all'interno del Robert Mondavi Institute.

Questo edificio, costato allo stato attuale quattro milioni di dollari, una volta completata l'installazione degli impianti, consentirà l'autonomia energetica agli adiacenti edifici didattici dell'università: cantina, birreria e impianto di trasformazione alimentare, consentendo loro di operare in modo auto-sostenibile attraverso la cattura in loco di energia e acqua. Questo intervento è stato reso possibile dalla donazione di trecento mila dollari effettuata da Jess Jackson e da sua moglie, Barbara Banke, titolari della Jackson Family Wines da cui prende il nome.





**Figura 27 Jackson Building: la costruzione**

L'edificio presenta un solo piano fuori terra e occupa una superficie in pianta di 850 metri quadrati, è a tutti gli effetti il “locale tecnico” dei suddetti edifici, infatti dovrà contenere tutti gli impianti per la produzione di caldo, freddo, sistemi di cattura e sequestro dell'anidride carbonica provenienti dalla fermentazione del vino ed infine ospiterà impianti per il filtraggio e ricircolo dell'acqua necessaria alle trasformazioni dei prodotti alimentari. Esso non potrà ottenere la certificazione LEED in quanto quest'ultima è riservata agli edifici ospitanti persone; sono già state avviate però le procedure per la certificazione Net Zero Energy sotto il marchio Living Building Challenge, sarà il primo edificio di qualsiasi università e solo il secondo edificio in tutta la California ad ottenere questa certificazione.





**Figura 28 Jackson Building: l'edificio**

Sono stati utilizzati diversi accorgimenti attivi e passivi per il contenimento delle variazioni termiche. L'edificio, infatti è stato costruito con un eccezionale isolamento termico per ridurre al minimo le variazioni di temperatura. I muri hanno valori garantiti di trasmittanza di  $R-60$  (equivalente a  $3,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) di isolamento delle pareti e  $R-76$  ( $4,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) nel tetto, fornendo un'elevata inerzia termica per contenere gli sbalzi di temperatura interni all'edificio. In estate, durante le ore serali, un sistema di ventilazione meccanico è utilizzato per ridurre la temperatura interna sfruttando le forti escursioni termiche quotidiane proprie del clima di quella zona.

Inoltre gli sporti della copertura sui lati est e ovest formano dei portici profondi (vedi Figura 28), proteggendo la struttura contro l'eccessivo soleggiamento estivo. La superficie del tetto è stata dimensionata per sostenere un impianto solare e uno fotovoltaico con la possibilità di poter ospitare ulteriori pannelli per le future esigenze energetiche della cantina, birreria ed edificio alimentare adiacenti.

La soletta controterra dell'edificio contiene un sistema di tubi che permette all'acqua di poter fornire raffrescamento o riscaldamento supplementari quando necessario; sono state inoltre predisposte le tubazioni per un futuro sistema di climatizzazione che sfrutta scambi di calore sotterranei fra un letto di roccia (rockbed) opportunamente costruito e l'aria dell'edificio fatta circolare al suo interno. Questo sistema è stato progettato per compensare il calore prodotto dalle varie macchine installate.



**Figura 29 Jackson Building: l'interno**

L'interno dell'edificio è stato suddiviso idealmente in dieci spazi modulari (vedi Figura 299, cinque per ogni lato lungo separati da un corridoio centrale. Gli spazi hanno la dimensione standard dei container e il corridoio è pensato carrabile per un camion. Ognuno di questi spazi ospiterà un impianto per il funzionamento degli edifici, tra cui:

- sistema ad elevata purezza di filtrazione delle acque piovane per l'utilizzo in fermentatori di pulizia e botti in cantina. Ad ogni ciclo di pulizia l'acqua verrà filtrata attraverso una membrana semi-permeabile permettendo un recupero, e quindi riutilizzo, del 90% dell'acqua filtrata. Questo consente di ridurre ad un decimo il fabbisogno idrico;
- sistema di cattura dell'anidride carbonica raccolte dalle fermentazioni. Essa sarà convertita in carbonato di calcio o gesso, rendendo il processo di vinificazione due volte negativo in termini di CO<sub>2</sub> emessa, considerando anche il processo di fotosintesi che avviene nei vigneti;
- sistema per la produzione di acqua refrigerata attraverso la produzione di ghiaccio ottenuta grazie all'energia solare;
- celle a combustibile per creare, immagazzinare ed utilizzare idrogeno per la produzione di energia. Questo sistema è integrato con pannelli fotovoltaici. Una parte dell'energia prodotta dai pannelli è destinata alla produzione di idrogeno il quale verrà utilizzato per produrre energia durante le ore notturne;
- sistema di controllo e di hub dei dati per i sistemi di elaborazione;

Gli altri spazi saranno dedicati alla ricerca e alle sperimentazioni.



**Figura 30: Jackson Building: l'edificio ultimato**

Uno degli aspetti caratterizzanti questo progetto è la modularità, questa consente flessibilità permettendo una rapida e facile sostituzione indipendente di tutti gli impianti nel momento in cui questi diventino obsoleti.

Lo scopo di questo edificio è diventare un esempio che possa incoraggiare l'adozione di tecnologie in evoluzione nei settori di energia, acqua, impatto ambientale e flussi di sottoprodotto (la CO<sub>2</sub> infatti, una volta trattata, diventa carbonato di calcio rivendibile).

### 3. Materiali e Metodi

#### 3.1. Area studio

Un progetto PRIN (Sangiorgi and Dioguardi 2011) riguardante i “Criteri di analisi e progettazione integrata nell’industria agroalimentare” ha dato l’opportunità di approfondire i temi della progettazione delle industrie agroalimentari, in particolare ha consentito al gruppo di ricerca dell’unità operativa di Bologna del suddetto progetto PRIN, di intraprendere uno studio specifico del territorio dell’Emilia Romagna finalizzato alla comprensione di come le componenti ambientali, costruttive e gestionali possano influenzare la qualità degli alimenti, la sicurezza e il benessere dell’uomo e dell’ambiente circostante. L’unità operativa di Bologna si è concentrata in particolare nello studio di nuovi approcci metodologici nella progettazione edilizia per le aziende vitivinicole.

L’Italia è da anni uno dei primi produttori ed esportatori di vino nel mondo. L’esportazione del prodotto italiano rappresenta infatti il 18% del totale mondiale (Nomisma 2008). Una delle caratteristiche tipiche del settore vitivinicolo italiano è la dimensione medio piccola delle aziende diffuse su tutto il territorio nazionale (771.000 aziende, con una superficie vitata totale di 840.000 ha).

La trasformazione diretta dell’uva, non sempre viene effettuata dall’azienda che coltiva la materia prima, solitamente le aziende che coltivano e trasformano l’uva in vino, sono impostate per la produzione di vini di qualità e a marchio, proponendosi come espressione tipica del territorio di appartenenza (Menghini 2008).

L’Emilia Romagna è la seconda regione dopo il Veneto per produzione enologica in Italia con circa 800.000 t di uva prodotta all’anno in 56.000ha. Il vino prodotto è circa 6 milioni di ettolitri annui di cui il 34% è vino da tavola, il 40% IGT, il restante 26% DOC o DOCG. La produzione è distribuita in maniera disomogenea all’interno delle singole province. La provincia di Bologna è quella che si avvicina di più ai valori medi regionali in termini di superficie coltivata, uva raccolta e vino prodotto. In particolare, all’interno della provincia bolognese, il 55% della superficie vitata, il 95% della produzione IGT e il 75% della produzione DOC sono concentrate nel territorio del Nuovo Circondario Imolese (NCI). Esso occupa 787 km<sup>2</sup> corrispondenti al 21% del territorio provinciale, è costituito dall’associazione di dieci comuni a cui sono delegate competenze a livello provinciale e regionale.

Le numerose ricerche che si sono concentrate su quest’area (Benni et al. 2008; Tassinari, Benni, et al. 2010; Torreggiani et al. 2011) hanno permesso una buona conoscenza del territorio che presenta altimetria mediamente decrescente da sud ovest a nord est, risulta essere pianeggiante per il 46%,

pedecollinare per il 38%, piena collina per 15% e solo l'1% risulta pedemontano con quote massime inferiori ai 900m slm.

Le ricerche effettuate si sono poi concentrate sulle aziende vitivinicole che operano prevalentemente la trasformazione delle proprie uve.

### **3.1.1. Caratteristiche dell'area studio**

L'elaborazione di un modello digitale del terreno calcolato sulla base della carta tecnica regionale integrato con dati vettoriali inerenti i sistemi insediativo, viario e idrografico, ha permesso di ottenere una prima caratterizzazione morfologica e insediativa. È presente un esteso sistema di terrazzi alluvionali connessi con i principali corsi idrici.

Numerosi sono i segni di preesistenze antropiche la cui importanza storica e testimoniale è sancita anche a livello normativo da leggi e regolamenti nazionali e locali.

Queste preesistenze sono prevalentemente riconducibili a:

- il sistema della centuriazione romana, visibile nel sistema viario e nei sistemi scolanti;
- la viabilità storica sviluppatasi lungo la principale direttrice (via Emilia) di origine romana;
- il sistema dei canali, importanti elementi sia per la regimentazione delle acque sia come rete di trasporto;
- gli edifici rurali di interesse storico;
- i centri e i nuclei storici;

Dall'analisi dell'evoluzione della viticoltura nel territorio, si possono notare i cambiamenti dovuti alla diffusione della meccanizzazione negli impianti colturali. Storicamente la vite era coltivata all'interno di "piantate" o "alberate" ovvero delle forme di coltivazione che prevedevano tutori vivi (tra cui olmi e gelsi). Questa forma ha rappresentato uno degli elementi caratteristici del paesaggio di questa regione e di altre regioni italiane. A metà del secolo scorso il territorio ha visto la graduale sostituzione della piantata in favore di seminativi in monocultura con la conseguente trasformazione del paesaggio rurale. La forma di coltivazione della vite attualmente più diffusa presenta altezza e distanza tra i filari idonee per poter permettere alcune operazioni meccanizzate, tra cui, in molti casi, la vendemmia.

Il paesaggio agrario dell'area di studio risultata frammentato ed offre un alto grado di diversità, i vigneti sono presenti in aree coltivate prevalentemente a seminativo e a frutteto in coltura

specializzata. Nelle zone collinari la frammentazione è ancora più marcata e tra gli usi agrari presenti si annoverano anche colture permanenti, aree boscate e terreni incolti.

Questo quadro mostra il vigneto non come protagonista del paesaggio ma come un elemento all'interno di una marcata eterogeneità dove frutteti e vigneti alternati a seminativi caratterizzano fortemente la pianura orientale e l'area pedecollinare orientale, mentre nella pianura occidentale i vigneti appaiono come elementi di limitate dimensioni inseriti all'interno di coltivazioni a seminativo, infine nell'area di piena collina i vigneti sono presenti in maniera sporadica.

La ricerca suddetta si è avvalsa dei più recenti dati disponibili riferiti all'anno 2007 (Regione Emilia Romagna 2008) per poter individuare la provincia più rappresentativa nel comparto della produzione vitivinicola. L'individuazione si è basata valutando le differenze dei valori dei principali parametri produttivi (superficie vitata, quantità di uva raccolta e di vino prodotto) riscontrati in ogni provincia con le medie regionali. La provincia che ha presentato le minori differenze è stata presa a riferimento. Una volta identificata la provincia, si è proceduto analizzando le estensioni delle superfici coltivate a vigneto nei singoli comuni secondo i dati raccolti dal censimento dell'agricoltura del 2000 (ISTAT 2000). Tale analisi ha permesso di localizzare una realtà sovracomunale che presenta un rapporto significativo fra superficie a vigneto e superficie territoriale. La documentazione reperita presso l'amministrazione provinciale ha consentito una caratterizzazione geomorfologica delle aree coltivate a vigneto elaborata su un software GIS. Su questa elaborazione sono stati aggiunti i dati reperiti presso il dipartimento di Sanità Pubblica dell'Azienda Unità Sanitaria Locale: il database ottenuto riguarda tutte le aziende vinicole per le quali è stata rilasciata l'autorizzazione sanitaria o che hanno effettuato la registrazione ai sensi del DLgs 193/07, in particolare da esso sono state desunte specifiche inerenti le capacità produttive annue delle singole aziende permettendo di identificare le classi cui è associata la più elevata frequenza nel territorio di studio al fine di evidenziare le analisi del processo produttivo.

### **3.1.2. Analisi del comparto vitivinicolo Emiliano-Romagnolo e dell'area studio**

L'Emilia Romagna è la seconda regione per produzione enologica in Italia con circa 800.000 t di uva prodotta all'anno in 56.000 ha, seconda solo al Veneto. Il vino prodotto è circa 6 milioni di ettolitri annui di cui il 34% è vino da tavola, il 40% IGT, il restante 26% DOC o DOCG. La produzione è distribuita in maniera disomogenea all'interno delle singole province (vedi Figura 31). La provincia di Bologna è quella che si avvicina di più ai valori medi regionali in termini di superficie coltivata (scarto +11%), uva raccolta (+16%) e vino prodotto (-3%). In particolare all'interno della provincia bolognese il 55% della superficie vitata, il 95% della produzione IGT e il 75% della produzione DOC sono concentrate nel territorio del Nuovo Circondario Imolese (NCI).

Esso occupa 787 km<sup>2</sup> corrispondenti al 21% del territorio provinciale, è costituito dall'associazione di dieci comuni a cui sono delegate competenze a livello provinciale e regionale.

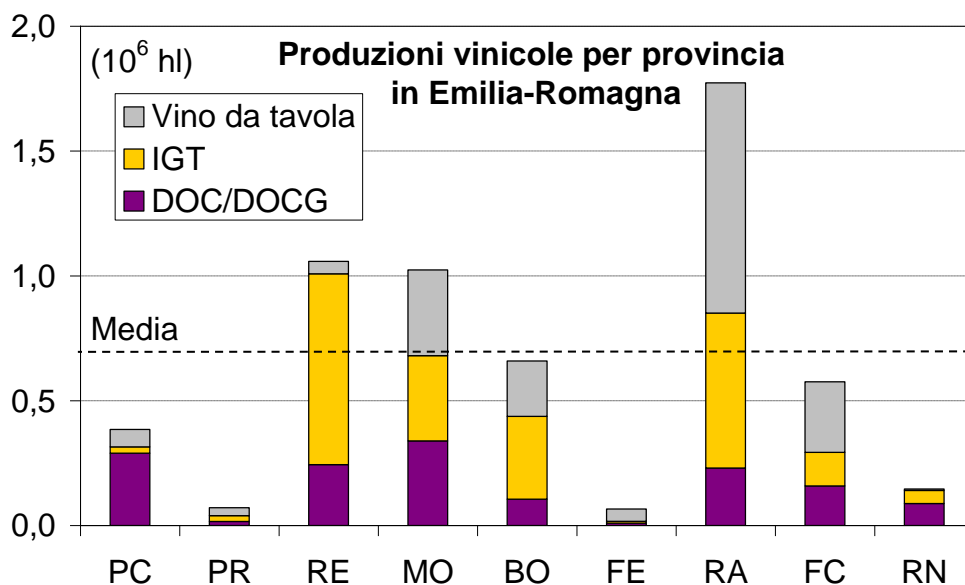


Figura 31 Produzioni vinicole nelle province dell'Emilia-Romagna nell'annata 2007

Un interessante studio relativo all'identificazione di idoneità del suolo all'uso forestale e agricolo che ha avuto per oggetto l'area del NCI (Tassinari 2007) ha suddiviso il territorio secondo tre soglie altimetriche, fino a 50 m slm aree di piena pianura (46% del territorio), da 50 a 300 m aree pedecollinari e di prima collina (38%), da 300 a 600 m aree di piena collina (15%) e superiori ai 600 m aree pedemontane (1%). L'idoneità, intesa come idoneità all'uso agricolo e forestale del suolo, valutata anche in base alla capacità di uso del suolo e della geomorfologia (Tassinari, Carfagna, et al. 2010) è stata suddivisa nelle seguenti classi: a) ambiti pianeggianti a elevata idoneità (32% del territorio); b) ambiti di pianura a minore idoneità (24%); c) ambiti pedecollinari e collinari con moderata idoneità (22%); d) ambiti collinari con intermedia idoneità (4%); e) ambiti con bassa idoneità (18%).

Le elaborazioni effettuate in ambiente GIS hanno mostrato che il 46% delle superfici coltivate a vigneto sono situate nelle zone di pianura, il restante 54% in collina o pedecollina (vedi Figura 32); analizzando anche la situazione del territorio in funzione della idoneità (vedi Figura 33) emerge che gli ambiti aventi la maggiore quota di superficie a vigneto appartengono alla classe c, mentre in pianura si registra una netta distinzione fra le aree con classe di idoneità a, dove è presente il 44% delle superfici vitate del territorio di studio e quelle di classe b, dove ve ne è solo il 16%. Risulta chiaro che la localizzazione dei vigneti è notevolmente dipendente dalla idoneità all'uso agricolo e forestale dei suoli e la sola analisi del territorio in funzione delle classi di altimetria non è sufficiente a definire le zone a maggior vocazione per le coltivazioni viticole.



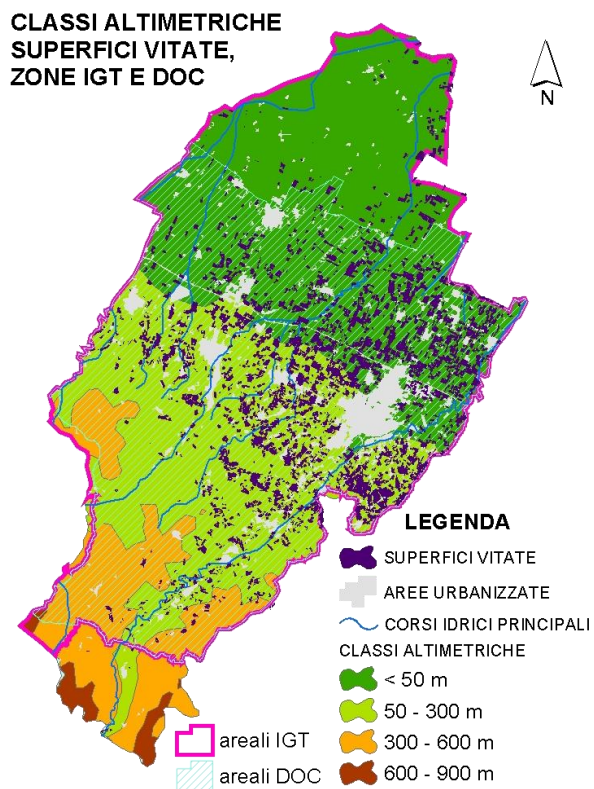


Figura 32 Inquadramento del territorio di studio: classi altimetriche, distribuzione delle superfici vitate e areali di produzioni a marchio.

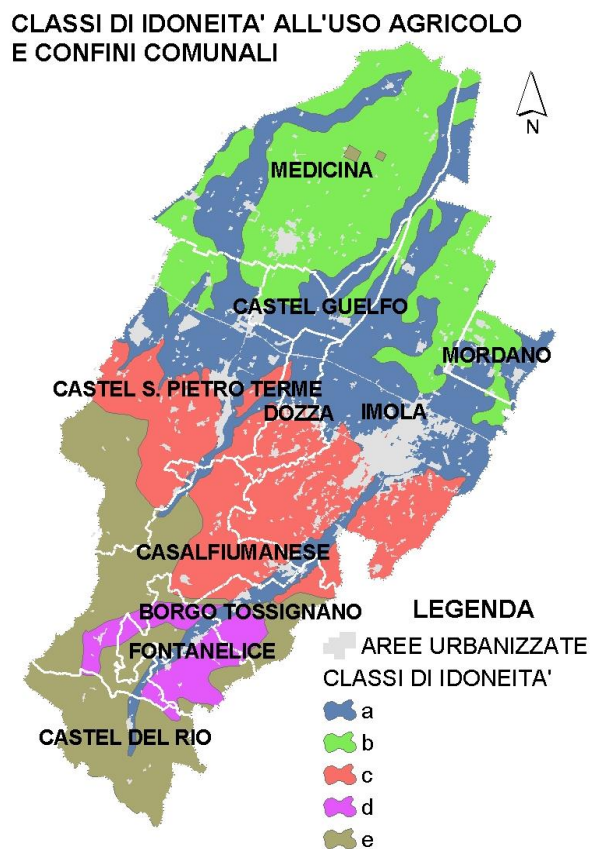


Figura 33 Le classi di idoneità all'uso agricolo e forestale dei suoli nel territorio di studio.



### 3.1.3. Definizione del campione di aziende

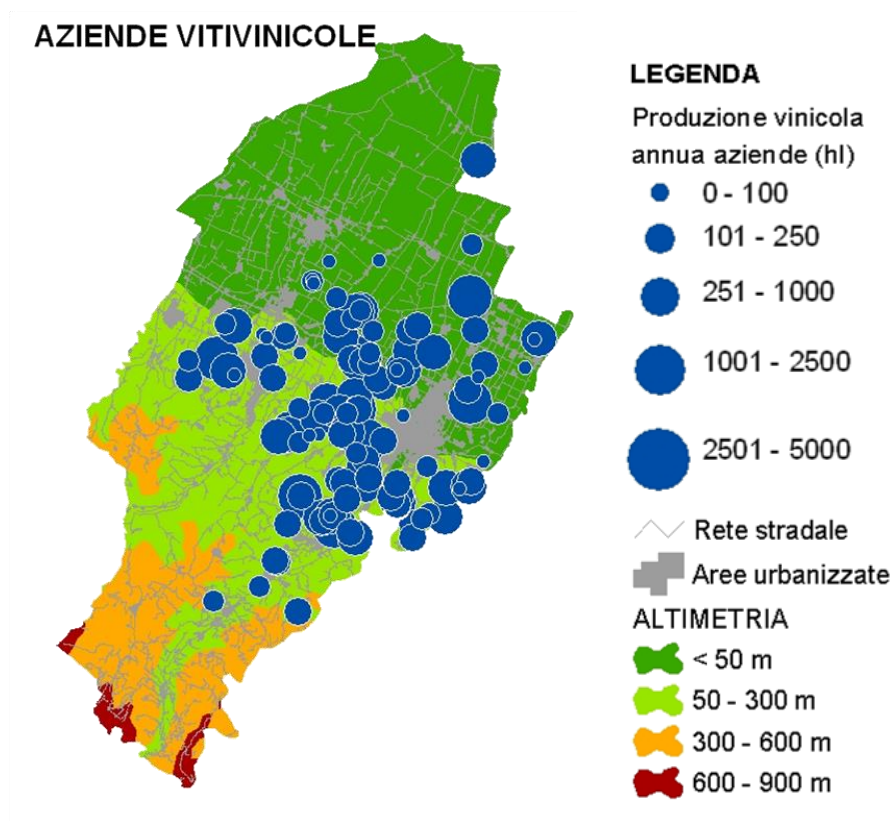


Figura 34 Ubicazione delle aziende vitivinicole dell'area studio e relativa produzione annua.

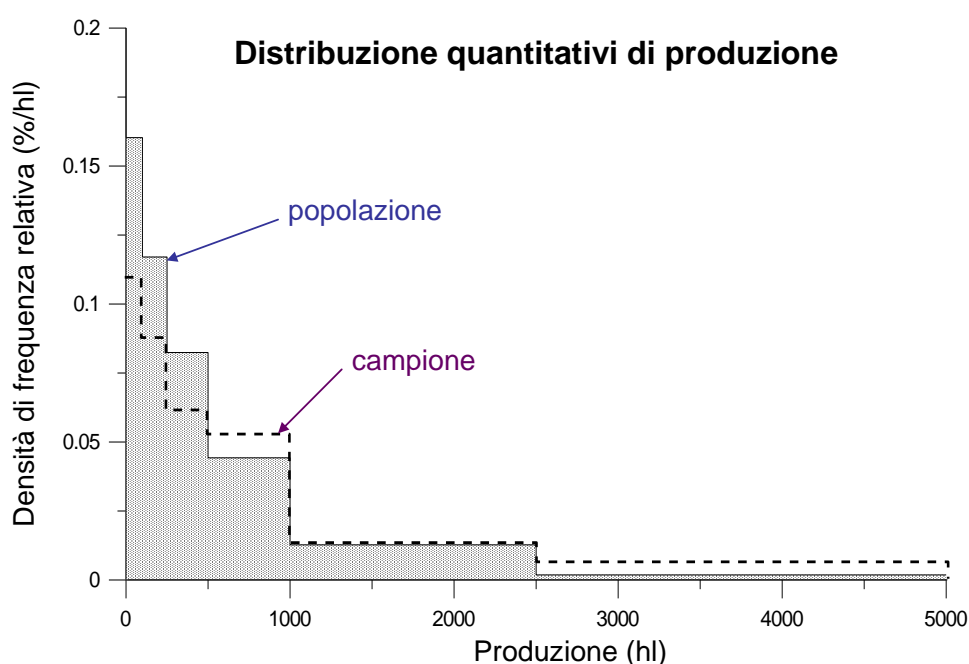
L'esigenza di un'analisi più approfondita ha spinto alla creazione di un database ad elevato contenuto informativo basato sui dati specifici delle singole aziende (Tassinari, Carfagna, et al. 2010). I dati raccolti relativi alla produzione vinicola mostrano la presenza nel territorio di studio di 146 aziende, con capacità produttive annue variabili da di 14 hl a oltre 290.000 hl. La maggior parte delle aziende (90%) ha una produzione annua inferiore a 5000hl, di queste oltre il 70% produce meno di 1000 hl. Vi è una notevole varietà di vitigni, tra cui Trebbiano, Sangiovese, Albana, Pignoletto, Cabernet Sauvignon e altre, dato coerente con la tendenza delle cantine a produrre vino per mercati di nicchia. Coerentemente con gli obiettivi dello studio, si è concentrata l'attenzione sulle cantine con produzioni annue non superiori a 5000 hl (vedi Figura 34), che risultano operare nel NCI.

Questa analisi è stata svolta partendo da un campione rappresentativo di cantine attraverso un procedimento inferenziale. Le aziende scelte all'interno del campione rappresentano l'intera popolazione in termini di produzione vinicola. L'ARPA (Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente) ha fornito informazioni relative la produzione viticola (estensione del vigneto, quantitativi di uva prodotta, di uva ricevuta, di uva ceduta) e vinicola (quantitativi di uva lavorata e

di vino prodotto, distinti in base alle principali categorie merceologiche di qualità ed alla forma di commercializzazione sfusa o imbottigliata), la quantità di acqua prelevata utilizzata e i reflui nonché le relative modalità di gestione e l'eventuale presenza di attività collegate all'agriturismo. Alle aziende campione è stato fornito un questionario per raccogliere informazioni di livello dettagliato riguardante i propri vitigni in coltivazione, la capacità dei vasi vinari e le principali modalità di commercializzazione dei prodotti. I dati ottenuti dalle aziende campione sono stati quindi georeferiti in un database GIS ed integrati con i dati provenienti dal catasto terreni e dal catasto viticolo.

### 3.1.4. Analisi svolte sul campione

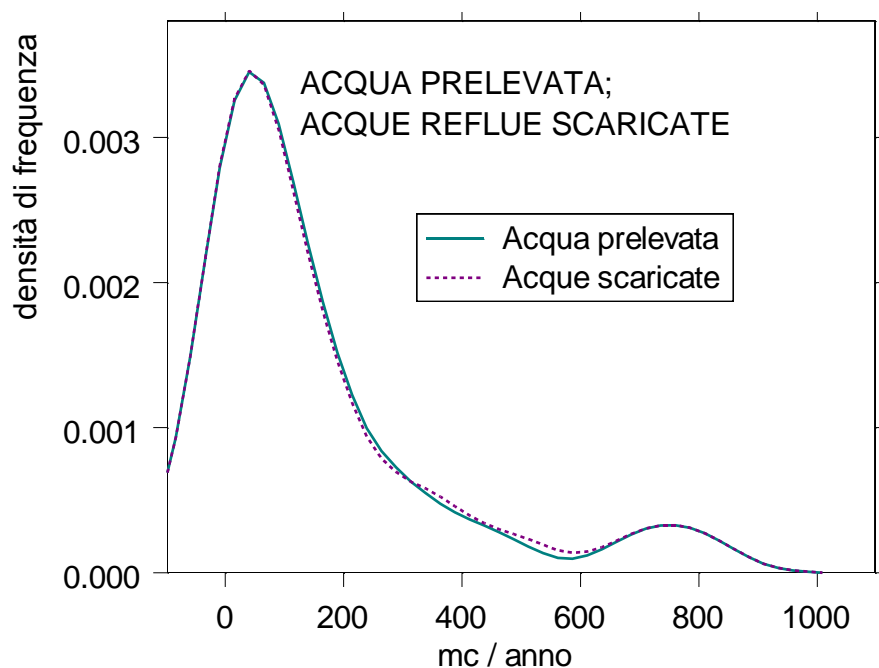
Il campione selezionato conta di 46 cantine con dimensione produttiva inferiore ai 5000 hl annui (vedi Figura 35). Con riferimento alle classi altimetriche definite in precedenza, i 2/3 delle aziende campionate sono situate nelle aree di pedecollina e prima collina e la loro produzione risulta essere i 2/3 del vino totale prodotto dall'intero campione, le rimanenti aziende sono collocate nelle zone di piena pianura. Riferendosi invece alle classi di idoneità risulta che il 39% del campione scelto risiede in classe a, il 60% in classe c e il restante 1% in classe e.



**Figura 35** Istogramma dei quantitativi di produzione vinicola annua della popolazione delle aziende vitivinicole dell'area studio e del campione selezionato.

L'estensione media delle aziende è di circa 30 ettari di cui la metà coltivati a vigneto. L'uva totale prodotta è di circa 165 t e l'uva lavorata circa 190 t, evidenziando che lavorazione comprende anche uva acquistata da altre aziende per un valore che si aggira attorno al 15%. Tra gli aspetti indagati è molto importante riportare le modalità di vendemmia: risulta infatti che il 46% delle aziende effettua esclusivamente la vendemmia manuale mentre il 54% si avvale anche delle modalità

meccaniche di vendemmia. La varietà di uve coltivate conferma la tendenza regionale (confermando la validità del campione), si trovano infatti numerose varietà di uva, specificamente: Trebbiano romagnolo (45%), Sangiovese (19%) Albana (10%), Pignoletto (8%), Cabernet Sauvignon (4%), Chardonnay (4%), Malvasia Bianca di Candia (4%), Merlot (2%), Barbera (1%), Uva Longanesi (1%) Pinot bianco (1%) e altri (1%). Il questionario ha evidenziato che la totalità delle aziende campione vinifica sia in bianco (60% del totale formato da 25% vino da tavola, 23% IGT, 12% VQPRD) sia in rosso (40% formato da 9% vino da tavola, 16% IGT e 15% VQPRD). La capacità media complessiva dei vasi vinari è di 1800 hl e il 70% delle aziende non supera i 2000 hl. Dati molto interessanti derivano dallo studio dell'acqua utilizzata nell'intero processo di vinificazione. Si è considerato tutto il prelievo della risorsa idrica per le necessità relative a lavaggio degli ambienti, dei vasi vinari, delle attrezzature e dei contenitori per il confezionamento del prodotto. La quantità media risultata è di 155 m<sup>3</sup>/anno (vedi Figura 36). Dipendendo in buona parte dall'attività di imbottigliamento, non sempre presente all'interno dell'azienda, non si riscontra una relazione lineare fra vino prodotto e acqua utilizzata. Le aziende che praticano l'imbottigliamento in proprio risultano avere una dimensione produttiva media di 2700 hl/anno, le cantine che non sono attrezzate per la fase dell'imbottigliamento hanno una produzione media inferiore a 900 hl/anno.



**Figura 36 Istogrammi perequati dei quantitativi di acqua prelevata e di acque reflue scaricate dalle aziende vitivinicole.**

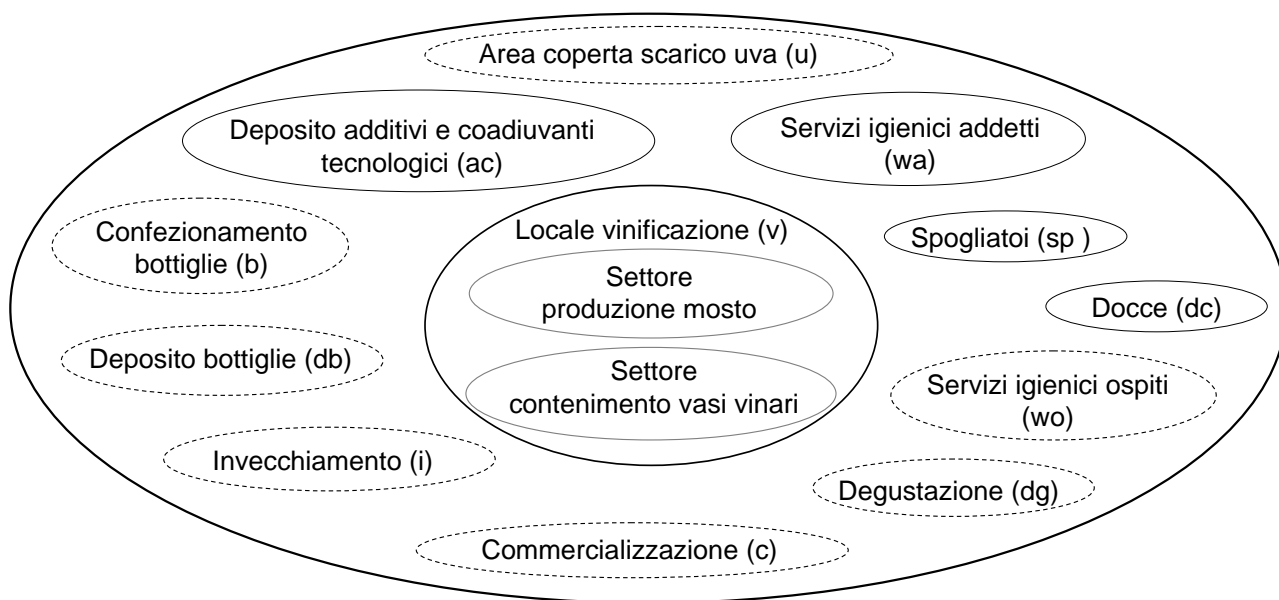
Le acque reflue prodotte dal processo tra 0.2 a 4.5 con una media di 1.3 (numero indicante il rapporto in volume fra acqua utilizzata e vino prodotto) in linea con gli studi (Farolfi1995, Berta2003, Boulton1998). Il Dlgs 152/2006 stabilisce che i suddetti reflui siano classificati come industriali assimilabili ad acque reflue domestiche, pertanto il sistema di trattamento delle stesse ad adottare, in ottemperanza con la Deliberazione 1053/1003 della Giunta Regionale, è costituito da

degrassatore, fossa Imhoff, biodisco o filtro aerobico o impianto ad ossidazione totale o fitodepurazione. Per quantità di reflui corrispondenti fino a 10 abitanti equivalenti, può essere adottato il sistema di trattamento formato semplicemente da una fossa Imhoff e dalla subirragazione.

### 3.1.5. Definizione delle unità funzionali

La regolamentazione tecnica ha condotto alla definizione delle principali unità ambientali per la definizione dell'organizzazione spaziale della cantina sia per la nuova progettazione sia per la trasformazione di strutture esistenti.

Le unità individuate sono riportate in Figura 37 e la numerazione sarà presa a riferimento nella seguente descrizione.



**Figura 37** Ideogramma delle destinazioni d'uso dei locali e degli spazi pertinenti di una cantina aziendale. Il contorno tratteggiato indica locali che possono non essere presenti, in relazione alle caratteristiche produttive e alle scelte imprenditoriali

La prima unità è l'area di conferimento delle uve (1) che qualora non sia prevista all'interno dell'edificio deve essere posta in uno spazio esterno carrabile. Le attività di vinificazione devono essere svolte all'interno in un locale (2) possibilmente diviso in due settori uno per la produzione del mosto e l'altro per il posizionamento dei vasi vinari. Un vano aggiuntivo (3) deve fungere da deposito per additivi e dei coadiuvanti tecnologici (vano sostituibile con armadietti lavabili e disinfettabili per necessità di spazio). Devono essere presenti un servizio igienico per gli addetti provvisto di antibagno e di un lavabo ogni 10 addetti, uno spogliatoio (5) ed un locale docce (6). Un'area per imbottigliamento e per il confezionamento delle bottiglie (7) deve essere presente nelle aziende in cui tale lavorazione è prevista, questo locale deve essere provvisto di un lavello. Qualora l'azienda destinasse una parte della produzione alla conservazione e all'invecchiamento deve

provvedere a realizzare locali appositi (8 e 9). Un idoneo vano per la commercializzazione (10) può essere incluso nel progetto. Nell'ipotesi di ospitare nella cantina attività di degustazione aperta a clienti, devono essere presenti un servizio igienico per gli ospiti (11) separato da quello per il personale ed una sala di degustazione (12).

Un'ulteriore analisi sulle aziende campione ha riguardato la rispondenza degli edifici destinati al processo di vinificazione ai requisiti imposti dai regolamenti edilizi e di igiene vigenti nei singoli comuni.

Il rispetto dei suddetti regolamenti dovrebbe garantire idonee condizioni di lavorabilità e sicurezza, tuttavia in molte situazioni non sono rispettati in quanto inapplicabili, in quanto spesso le aziende trovano sede in edifici preesistenti, edificati per contenere una funzione diversa dalla vinificazione e successivamente convertiti a tale uso. La tendenza della normativa in questi casi è spesso quella della concessione di deroghe. In generale il rilievo ha consentito di verificare una totale rispondenza dei requisiti nel 90% dei casi, le criticità maggiori si sono riscontrate nelle pavimentazione dell'area di ricevimento delle uve e nei rivestimenti delle pareti destinate a servizi igienici spogliatoi e docce.

### **3.1.6. Nuove valenze delle aziende vitivinicole**

Mentre tutte le aziende campionate offrono un servizio di degustazione e di vendita diretta al consumatore, quelle che contengono delle attività legate all'agriturismo sono solo il 13% sono caratterizzate da una superficie vitata media di circa 10 ha su una superficie aziendale di 38 ha con produzione media di 670 hl/anno. Le restanti aziende presentano una superficie vitata media di 14ha con produzione media di 1200hl e un'estensione aziendale di 29ha. Questi dati sembrano mostrare una limitata concentrazione nel settore vinicolo delle aziende che forniscono servizi agrituristiche, rispetto ad altre categorie di aziende agricole.

La cura della qualità architettonica e paesaggistica riscontrabile nel costruito delle aziende, risulta quasi assente negli edifici destinati alla produzione, trova dei riscontri seppur marginali negli ambienti progettati per l'accoglienza del visitatore con lo scopo primario di ottenere ricadute in termini di marketing.

In questi locali si trovano frequentemente richiami alla tradizione rurale ed elementi caratteristici della cultura contadina con il chiaro intento di trasmettere al visitatore un senso di accoglienza ed ospitalità tipico della tradizione. Sebbene questo intento spesso non rispetti valutazioni rigorose né da un punto di vista architettonico, né di *genius loci*, ha comunque permesso il recupero di vecchi edifici nei centri aziendali storici, i quali vengono spesso adibiti a funzioni legate ad eventi culturali e ricreativi creati attorno al tema del vino. Questo recupero parziale, unito all'esigenza di nuove costruzioni per la produzione, in cui il lato estetico non è di certo in primo piano, ha portato alla

frequente giustapposizione di edifici antichi e moderni, di interventi costruiti in epoche differenti, con materiali, forme e costruzioni eterogenee. L'esigenza da soddisfare era quindi legata alla sola ottimizzazione degli spazi con quasi assente attenzione verso la coerenza architettonica ed ambientale del costruito.

Le analisi condotte nelle aziende campione hanno permesso l'individuazione di due grandi categorie di layout distributivo funzionali:

- centro aziendale composto da un unico fabbricato o comunque fabbricati direttamente collegati o integrati tramite tettoie annessi edificazioni aggiuntive ecc
- centro aziendale composto da elementi nettamente separati.

Queste due soluzioni sembrano non collegate alle principali variabili della filiera produttiva (meccanizzazione della produzione, modalità di conduzione, ordinamento produttivo, sistemi di vinificazione eccetera).

Gli spazi destinati all'accoglienza dei consumatori è ricavato da edifici preesistenti nel 62% dei casi. Il restante 38% ha avuto un ampliamento negli ultimi 20 anni e gli spazi per l'accoglienza sono stati inglobati nelle nuove costruzioni con spazi progettati ad hoc.

## **3.2. Caso studio**

### **3.2.1. L'azienda "Branchini"**

Lo sviluppo successivo della ricerca è stato quello di selezionare, fra le aziende campione, un caso studio per poter effettuare ricerche specifiche finalizzate alle analisi del consumo delle risorse energetiche ed idriche in un'azienda vitivinicola. Questa fase della ricerca prevedeva di individuare un'azienda in cui fosse possibile analizzare nel tempo l'uso dell'acqua e dell'energia elettrica destinate ai processi di vinificazione e conservazione, monitorando al contempo le attività effettuate dagli operatori, le temperature e le umidità dei locali, e i dati meteorologici del sito.



**Figura 38 Azienda Branchini: panoramica del centro aziendale e dei vigneti**

L'azienda scelta per questa fase è stata l'Azienda Branchini con sede a Dozza (BO) in località Toscanella (vedi Figura 38). Essa ha un'estensione di 80 ettari di cui 20 a vigneto: Sangiovese, Albana, Pignoletto, Trebbiano Romagnolo, Chardonnay e Cabernet Sauvignon. L'uva trasformata annualmente è circa 2000 quintali e viene raccolta meccanicamente e manualmente. Produce vino bianco, rosso e passito per una quantità complessiva variabile dai 1400 hl ai 2200 hl annui, di questa quantità solo circa 500hl vengono imbottigliati il resto è venduto come vino sfuso. L'azienda non possiede una propria linea di imbottigliamento e ricorre quindi ad una ditta esterna. L'azienda Branchini è a conduzione familiare ed oltre ai proprietari vi sono 2 addetti fissi e 3 stagionali. Il periodo di vendemmia è di due mesi circa dal 20 agosto al 20 ottobre. La refrigerazione dei vasi è affidata a due impianti da 20kW e 15kW. L'approvvigionamento idrico avviene tramite acquedotto e pozzo, l'elettricità è fornita dalla rete di distribuzione nazionale.

### **3.2.2. Il centro aziendale**

Il centro aziendale è formato da quattro edifici: un edificio storico destinato ad abitazione ed uffici (vedi Figura 39) nel quale è collocata anche una piccola barricaia interrata e uno spazio per la degustazione, un edificio prefabbricato di grandi dimensioni nel quale avviene la vinificazione e lo stoccaggio (vedi Figura 40), un piccolo edificio storico in cui sono presenti spogliatoi, servizi igienici e docce per addetti (vedi Figura 41), infine una nuova costruzione destinata alla conservazione del vino (vedi Figura 42), nella quale l'unico locale presente è climatizzato.





Figura 39 Azienda Branchini: residenza



Figura 40 Azienda Branchini: locale di vinificazione



Figura 41 Azienda Branchini: edificio dei servizi



Figura 42 Azienda Branchini: edificio per la conservazione

### 3.2.3. Monitoraggio

Negli ultimi anni i settori agricolo e agroindustriale sono stati caratterizzati da un crescente sviluppo delle tecnologie di precisione, rendendo sempre più frequente il ricorso a soluzioni informatizzate da parte di molte aziende orientate verso politiche di risparmio energetico e di controllo accurato della qualità dei prodotti. Nel caso delle cantine, le temperature richieste dal processo di vinificazione sono garantite nella maggior parte dei casi, da vasi vinari termoregolati mentre, nei casi di conservazione e di invecchiamento, le condizioni termiche del vino sono determinate dalle temperature dei locali in cui il prodotto è riposto. L'evoluzione dei software di simulazione energetica ha consentito una progettazione dei suddetti locali che possa prevedere con buona precisione gli andamenti termici annuali delle temperature ambientali. Sia per la validazione e l'affinamento di tecniche di modellazione computerizzata di supporto ad una corretta progettazione delle cantine, sia per una gestione del processo di vinificazione in grado di assicurare la qualità del prodotto e l'efficienza di processo attraverso un rigoroso controllo ambientale, si rende necessaria una accurata conoscenza dei parametri ambientali dei locali destinati alla produzione, conservazione ed affinamento del vino. Tali aspetti assumono particolare rilievo nel caso di cantine aziendali, dove



le varie fasi del processo produttivo spesso si svolgono sia in locali appositamente progettati, sia in edifici già esistenti, anche storici, quindi con bassi livelli di standardizzazione costruttiva ed impiantistica.

Non è tuttavia rinvenibile nella letteratura scientifica una metodologia standardizzata e consolidata per il monitoraggio delle condizioni ambientali dei locali destinati ad ospitare le varie fasi del processo produttivo enologico.

Nonostante l'importanza dei fattori succitati e nonostante in letteratura siano presenti numerosi studi che si occupano di monitoraggio termico di locali (Martín Ocaña and Cañas Guerrero 2006; Fuller, Luther, and Cheung 2004), la descrizione del metodo di rilevazione viene spesso ragionevolmente tralasciata viste le differenze che si possono incontrare nelle varie campagne di rilevazione. Per questa ragione è stato ideato un metodo ad hoc che possa al contempo quantificare e massimizzare precisione e accuratezza delle rilevazioni.

La Azienda Branchini ha messo a disposizione dei locali, in cui sono presenti attività collegate alla vinificazione, per sperimentare ed installare un sistema di monitoraggio termico tuttora funzionante. Il monitoraggio presso l'azienda ha avuto quindi l'obiettivo di mettere a punto, calibrare e validare una metodologia per il monitoraggio delle temperature dei locali di conservazione ed invecchiamento del vino, attraverso una campagna sperimentale. Obiettivi specifici di questa fase sono stati la definizione, lo sviluppo, l'implementazione e la validazione di un apparato sperimentale per il rilievo e l'analisi della distribuzione e dell'evoluzione temporale delle temperature, concepito ed ottimizzato in relazione alle finalità del processo di conservazione del vino.

La sperimentazione ha previsto l'impiego di sensori termo-igrometrici data-logger stand-alone del tipo PCE HT71. La messa a punto e la validazione della metodologia e dell'apparato sperimentale sono state condotte sul locale interrato destinato all'invecchiamento (Figura 43) hanno previsto:

- l'individuazione del locale oggetto di monitoraggio e la valutazione delle condizioni al contorno di scambio termico;
- la scelta e la calibrazione dei sensori;
- la definizione del numero e del posizionamento dei sensori;
- la definizione della frequenza di acquisizione e registrazione delle misure di temperatura.

Dopo aver effettuato una serie di misurazioni istantanee in vari punti del locale prescelto, un set di sensori è stato disposto secondo una griglia geometricamente regolare ad alta densità (distanza

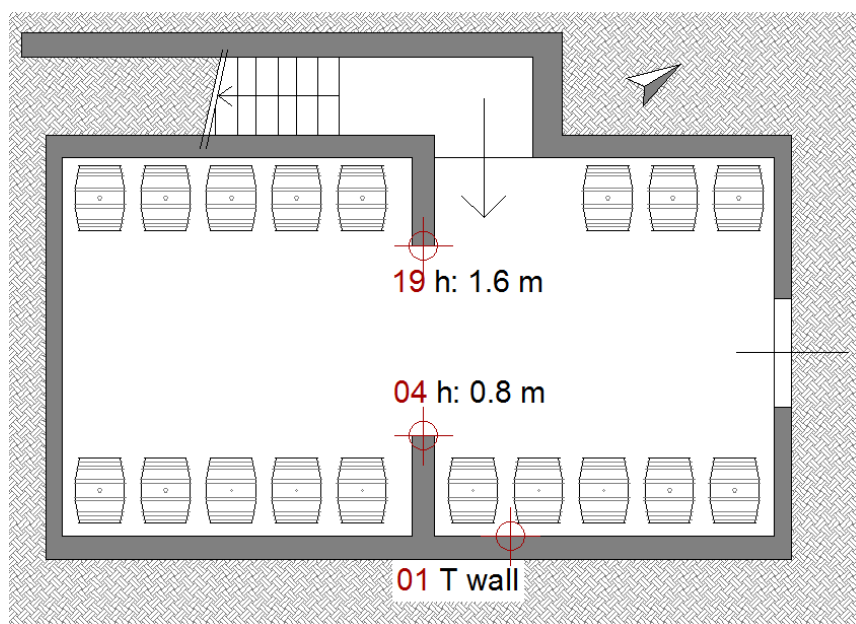
massima tra due sensori consecutivi pari a un quinto della dimensione massima del locale). La frequenza di misurazione è stata assunta pari a 6 misurazioni/ora, valore superiore a quelli rinvenuti in letteratura per locali aventi caratteristiche simili. I sensori sono stati impostati in modo da effettuare misure istantanee contemporanee, per un periodo di giorni limitato. I test condotti su tale assetto, ritenibile estremamente cautelativo in termini di risoluzione sia spaziale sia temporale in relazione agli obiettivi dello studio, hanno consentito di addivenire alla definizione del numero e della posizione definitiva dei sensori necessari per lo studio, nonché della frequenza di misurazione.



**Figura 43** Locale di invecchiamento oggetto del monitoraggio

Al termine dello studio, grazie ai dati ottenuti, si è constatata l'uniformità della temperatura dell'intero locale con differenze all'interno dei piani orizzontali dell'ordine del decimo di grado, lievemente superiore tra le due quote indagate (quota superiore  $+0.2^{\circ}\text{C}$  rispetto la quota inferiore). Gli scarti sono stati ritenuti accettabili con le finalità della ricerca in atto, quindi la temperatura della stanza è stata considerata uniforme. Si è deciso comunque di collocare due sensori, uno per ogni quota identificata, con il doppio fine di prevenire l'assenza di dati nel caso di un malfunzionamento di un sensore termico e di verificare nel tempo l'ipotesi di uniformità della temperatura sui due livelli. Ai fini della presente ricerca la temperatura della stanza è stata definita come la media di quella rilevata dai due data-logger installati. Attraverso un'analisi statistica, lo studio ha inoltre individuato la zona della stanza che rappresenta meglio l'andamento della temperatura media del locale, ma essendo questa al centro della stanza stessa, non è stato possibile collocare alcun rilevatore per lunghi periodi a causa delle esigenze lavorative dell'azienda. I risultati dello studio ci hanno permesso comunque di disporre due data-logger (numero 04 e numero 19) tali per cui la media delle temperature rilevate, rappresenti con buona precisione la temperatura media

della stanza. All'interno della stanza monitorata sono stati quindi collocati 3 termoigrometri come illustrato in Figura 44.



**Figura 44 Planimetria del locale dell'invecchiamento e disposizione dei termoigrometri**

Il data-logger 01 registra le temperature di parete. Il motivo per cui si è deciso di monitorare anche la temperatura di parete, deriva dal fatto che essa risulta determinante nelle modellazioni e simulazioni energetiche e perché può influenzare la conservazione del vino nelle barrique poste in prossimità delle pareti, in particolare nei locali dotati di scarsa ventilazione.

Una centralina meteo collocata a circa 100 metri della barricaia ha registrato temperatura, umidità pressione atmosferica esterne, velocità e direzione del vento con frequenza di 30 minuti, con essi si è creato un file che raccoglie le principali variabili atmosferiche per il periodo di un anno solare. Il suddetto file è necessario per l'esecuzione delle simulazioni energetiche.

I dati ottenuti da questo monitoraggio hanno permesso di validare le modellazioni energetiche per le pareti interrate così come spiegato nell'Allegato A.1.

### **3.3. Strumenti di modellazione e simulazione energetica**

Il mercato informatico offre una vasta gamma di programmi per le simulazioni degli edifici. Per questo studio si è utilizzato Energy Plus. Energy Plus è un programma di simulazione energetica degli edifici in regime dinamico. Il programma, pensato per ingegneri, architetti e ricercatori, è capace di modellare e simulare l'utilizzo di energia e acqua di una costruzione, rendendosi uno strumento utile all'ottimizzazione dell'uso delle risorse impiegate dell'edificio durante il suo periodo di vita. Per soddisfare questo scopo, il programma modella i processi energetici coinvolti:

riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, altri flussi energetici (es. carico termico dovuto agli occupanti l'edificio, alle attrezzature elettriche ecc) e l'uso dell'acqua.

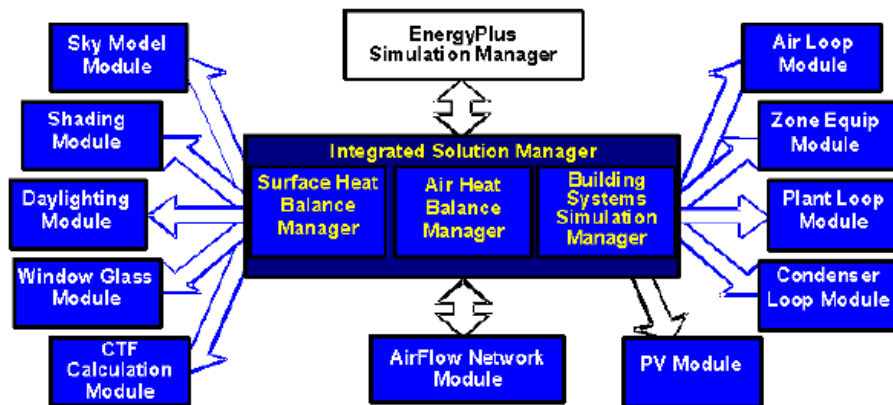
L'ampio consenso che sta riscontrando nella comunità scientifica (Benni et al. 2013; Mazarrón, Cid-Falceto, and Cañas Guerrero 2012b) riguarda sia il grado di dettaglio e di precisione raggiunto dai risultati, sia la gestione di fenomeni di diversa natura coinvolti nei calcoli energetici.

Energy plus è un progetto nato negli Stati Uniti nel 1996 che ha visto il rilascio della prima versione nel 2001. Nasce da due software di simulazione termo-energetica, DoE-2 (Ministero dell'energia) e Blast (ministero della Difesa). Lo scopo era principalmente quello di creare un nuovo codice per il calcolo delle simulazioni energetiche revisionando e collegando tutte le subroutines sviluppate negli anni. Il team coinvolto nel programma è composto dal DoE, dal Cerl, dall'Università dell'Illinois, dal LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory), dall'università statale dell'Oklahoma e dalla Gard Analytics. L'innovazione principale del software Energy Plus riguarda la simulazione integrata fra l'ambiente oggetto della simulazione e il sistema impiantistico per la climatizzazione, ovvero, Energy Plus, per ogni step di calcolo, elabora un bilanciamento iterativo fra il carico termico richiesto dall'ambiente per mantenere una temperatura prefissata e il carico che l'impianto fornisce. Nei programmi predecessori i calcoli venivano svolti separatamente e terminato il calcolo sui dati ambientali, i risultati venivano inviati alle componenti di calcolo per gli impianti con un procedimento a cascata.

### **3.3.1. Il software Energy Plus**

L'iteratività è stata raggiunta grazie alla struttura del software stesso. Il software è costituito da numerose parti (moduli) che possono eseguire calcoli separatamente. Ogni modulo elabora una parte specifica del calcolo complessivo. I risultati di ogni modulo sono gestiti da moduli posti ad un livello gerarchico superiore secondo una struttura ad albero rovesciato, fino a giungere alla subroutine principale chiamata ManageSimulation la quale, coordinando i principali cicli di calcolo, determina lo stato della simulazione di ogni modulo e definisce, per ognuno di essi, quali dati devono essere considerati come input e quando. Un altro vantaggio che presenta questa impostazione del software, è la possibilità di poter sviluppare singolarmente ogni modulo modificandolo o inserendolo nella struttura esistente senza interferire con il progetto originale. È importante precisare che Energy Plus è open source, pertanto tale operazione può essere effettuata da chiunque ne abbia le capacità. La struttura così pensata, permette continui aggiornamenti e sviluppi anche da utenti che, pur non avendo una conoscenza dell'intero software, hanno una conoscenza approfondita in un solo specifico settore, contribuendo, secondo gli autori, ad una continua evoluzione del programma, rendendolo rispondente alle necessità dell'utenza in tempi rapidi. La bontà di ogni sviluppo è testata con continuità secondo la normativa americana ASHRAE

e i risultati dei test sono reperibili online. I componenti principali della struttura sono illustrati nella figura seguente (Figura 45)



**Figura 45 Struttura del software EnergyPlus**

Al centro dello schema sono illustrati i tre moduli principali: Surface Heat Balance Manager adibito al calcolo del bilancio termico sulle pareti tra la parete stessa e la zona termica, Air Heat Balance Manager per la risoluzione del bilancio termico dovuto agli scambi radiativi e convettivi e il Building Systems Simulation Manager per la parte impiantistica. Questi tre moduli sono gestiti da un unico modulo che permette la risoluzione dei calcoli in simultanea e non in cascata ottenendo una simulazione più accurata rispetto al procedimento a cascata. Ad ogni step di calcolo vi è un bilanciamento tra domanda energetica dell'edificio e offerta energetica da parte dell'impianto secondo un procedimento denominato predictor/corrector method.

Un altro vantaggio di questo software è la possibilità di interfacciarsi facilmente con altri software esistenti o con programmi GUI (Graphical User Interface) creati appositamente per semplificare l'utilizzo del software:

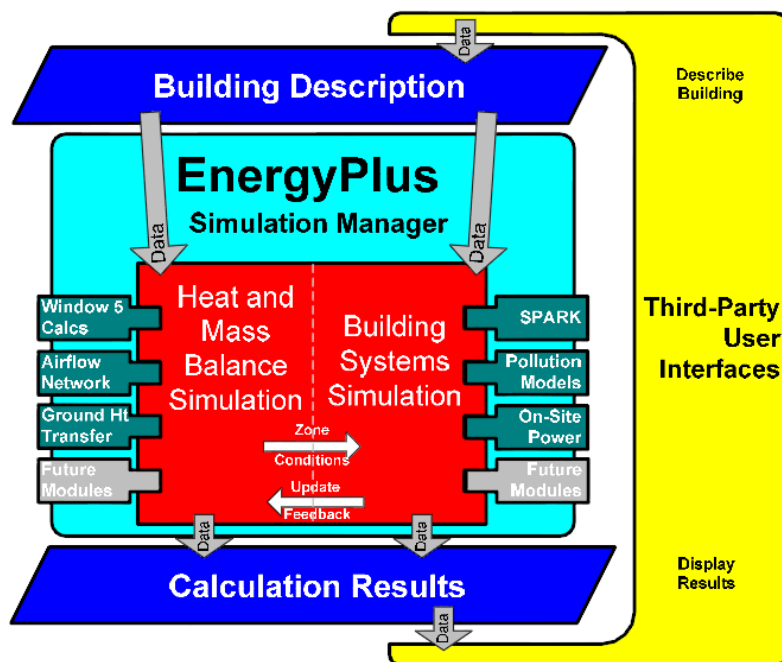


Figura 46 Schema di collegamento fra EnergyPlus e altri software

I file di input e di output sono in formato ASCII per cui la modifica degli stessi può avvenire anche utilizzando un semplice editor di testo. In alternativa Energy Plus offre un programma, IDFEitor.exe, in grado di gestire le fasi di input del file semplificando la fase di input (U.S. Department of Energy 2013).

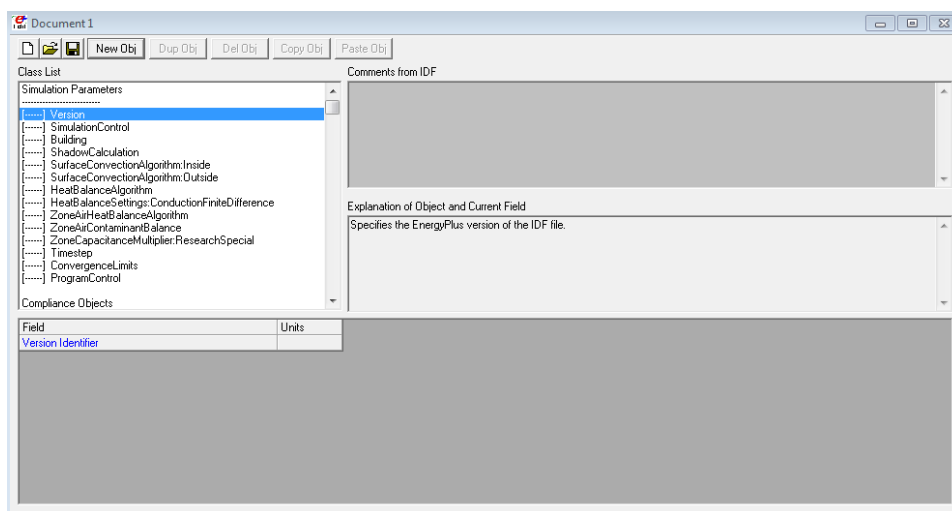


Figura 47 Interfaccia IDFEitor

L'edificio analizzato da Energy Plus deve essere modellato in zone termiche, dove per zona termica si intende una porzione di spazio a temperatura uniforme composta dal volume d'aria contenuto e dalle superfici che lo delimitano. Le ipotesi negli scambi di calore sono: temperatura dell'aria uniforme all'interno della zona termica, temperatura uniforme di ogni superficie, irraggiamento uniforme ad alta e bassa lunghezza d'onda, superfici uniformemente diffondenti e trasmissione monodimensionale del calore di conduzione.



Per lo scambio termico fra pareti e ambiente gestito dal modulo Surface Heat Balance Manager, Energy Plus si basa sul calcolo dei fattori di risposta secondo il concetto delle funzioni di trasferimento (CTFs) le quali sono algoritmi in grado di associare la sollecitazione termica indotta dal sistema parete con la risposta del sistema ambiente, ovvero le funzioni calcolano dei coefficienti detti appunto fattori di risposta i quali dipendono solo dalle caratteristiche fisiche dei sistemi quindi sono costanti e pertanto devono essere calcolati una sola volta per ogni simulazione. Essi sono indipendenti dalle temperature, il trasferimento della massa di vapore, per il calcolo dell'umidità, deve essere quindi effettuato con ulteriori algoritmi associati alle funzioni precedenti. Altri moduli interagenti con il Surface Heat Balance Manager sono quelli che determinano l'orbita solare, le condizioni di radiazione ed illuminamento, le ombre, le proprietà dei materiali trasparenti e altri.

il Building Systems Simulation Manager gestisce tre sotto sistemi: l'air loop, il plant loop e il condenser loop destinati rispettivamente alla modellazione delle componenti relative ai flussi d'aria, delle reti idroniche e delle batterie di scambio termico. Per semplificare la modellazione, Energy Plus presenta degli oggetti chiamati HVAC templates i quali offrono la possibilità di inserire nella modellazione configurazioni impiantistiche complesse a fronte di un numero di dati di input limitato.

Oltre all'IDFeditor.exe nella documentazione fornita con Energy Plus si trova l'EPlaunch.exe, il quale si presenta come una finestra di input in cui è richiesto l'inserimento di dati per il settaggio di alcune impostazioni di calcolo (ad esempio durata della simulazione, frequenza degli step eccetera), dei link al file .idf da simulare e al relativo file meteo. Il file meteo è un file in formato .epw che contiene tutte le informazioni climatiche necessarie alla simulazione. Tali file sono reperibili sul sito del programma per oltre 2100 località sparse nel mondo e, essendo in formato ASCII, sono modificabili attraverso un editor di testo o un foglio di calcolo consentendo, se necessario, la sostituzione dei dati esistenti con altri più attinenti al sito della simulazione. L'EPlaunch inoltre consente la visualizzazione tridimensionale del modello e infine invia i dati al motore di calcolo Energy Plus che restituisce fra gli altri, un file in formato .eso contenente gli output richiesti dal file .idf. Tale file può essere visualizzato con l'utilizzo di applicazioni apposite, in alternativa Energy Plus fornisce un eseguibile capace di trasformare il file .eso in .csv, formato basato su file di testo gestibile da qualunque foglio elettronico.

### **3.3.2. Il software OpenStudio**

Una problematica del software tutt'altro che trascurabile è certamente la non immediatezza dell'interfaccia grafica, questo risultato è in linea con l'impostazione dello sviluppo del software, infatti il Ministero dell'Energia degli Stati Uniti ha definito il programma Energy Plus come pubblico, pertanto le risorse devono essere principalmente investite nella ricerca e sviluppo del

codice di calcolo, lasciando alle aziende private, qualora lo ritenessero opportuno, l'onere di realizzare e commercializzare soluzioni user friendly. Molti software commerciali per la simulazione energetica e per la modellazione consentono l'esportazione del proprio file in formato .idf (Ecotect, Rhino, EP-quick, Revit).

A questo riguardo uno dei progetti più interessanti è OpenStudio sviluppato dal NREL (National Renewable Energy Laboratory). OpenStudio, giunto alla versione 1.1 (data di rilascio 22/10/2013) è una collezione di diversi applicativi adatti a gestire l'intero progetto di modellazione energetica di Energy Plus (per il calcolo dell'illuminazione può essere usato Radiance in alternativa). Nato originariamente come plug-in di Google SketchUp (oggi Trimble SketchUp), OpenStudio utilizzava le capacità di modellazione 3D di Sketchup per modellare gli edifici destinati al calcolo energetico, una finestra ausiliaria detta Inspector consentiva il completamento della maggior parte delle impostazioni di EnergyPlus, infine un ulteriore comando permetteva l'apertura di una finestra molto simile a EP-Launch per consentire il lancio della simulazione. Successivamente OpenStudio, pur mantenendo SketchUp come modellatore 3D e Energy Plus come motore di calcolo, ha acquisito una propria autonomia. Attualmente Open Studio è formato dai seguenti applicativi:

- Plug-in per SketchUp
- ParametricAnalysis Tool
- RunManager
- OpenStudio Application
- Result Viewer

Il Plug-in per SketchUp consente la modellazione tridimensionale dell'oggetto da simulare e la gestione delle sue proprietà tramite l'utilizzo della finestra di Inspector, è possibile quindi settare la maggior parte delle proprietà dell'edificio: dalla collocazione geografica alla scelta dei materiali, dal settaggio dei termostati all'impostazione del file meteo di riferimento. Molto utile risulta la modalità di visualizzazione dell'oggetto con colorazioni differenti a seconda della zona termica, del pacchetto murario, delle condizioni al contorno e altro. La modalità di visualizzazione e altre funzioni grafiche rendono di immediata comprensione ciò che con Energy Plus è visualizzato come testo in diverse schede.





Per le simulazioni Energy Plus necessita del file (.idf) che descrive l'edificio e del file meteo (.epw) che fornisce i dati climatici del sito in cui è collocato l'edificio oggetto della simulazione. Il file meteo si presenta come un file di testo in cui vi sono contenuti i principali dati atmosferici che influenzano gli scambi termici dell'edificio, raccolti con frequenza oraria per il periodo di un anno.

### Figura 51 File meteo .epw visualizzato su un editor di testo

77

relativa e pressione, negli ultimi decenni si è iniziato a monitorare e valutare anche radiazione solare, luminosità e nuvolosità, anche in funzione della crescente diffusione dei sistemi fotovoltaici e solari. La concezione del file meteo per Energy Plus è nato da uno standard precedente, il TMY2 (Typical Meteorological Year), oltre alle principali grandezze fisiche monitorate si possono aggiungere altre informazioni che caratterizzano il sito la cui assenza comunque non pregiudica il lancio della simulazione. Ad esempio vi sono informazioni inerenti, latitudine, longitudine, altezza sul livello del mare fuso orario, periodo di ora legale e festività, periodi dell'anno con condizioni climatiche tipiche ed estreme.

I dati appena elencati occupano le prime otto righe del file di testo di Figura 51, di seguito trovano collocazione altre 8760 righe, una per ogni ora dell'anno, in cui sono elencate, oltre l'indicazione di anno, mese, giorno, ora e minuto di riferimento, le grandezze fisiche registrate su base oraria. Tali grandezze sono:

- Temperatura di bulbo secco [°C]
- Punto di rugiada [°C]
- Umidità relativa [%]
- Pressione atmosferica [Pa]
- Radiazione orizzontale extraterrestre [Wh/m<sup>2</sup>]
- Radiazione normale extraterrestre [Wh/m<sup>2</sup>]
- Intensità di radiazione infrarossa orizzontale [Wh/m<sup>2</sup>]
- Radiazione orizzontale globale [Wh/m<sup>2</sup>]
- Radiazione normale [Wh/m<sup>2</sup>]
- Radiazione orizzontale diffusa [Wh/m<sup>2</sup>]
- Illuminamento orizzontale globale [lux]
- Illuminamento normale [lux]
- Illuminamento orizzontale diffuso [lux]
- Intensità luminosa di Zenith [cd/m<sup>2</sup>]
- Direzione del vento [gradi sessagesimali]

- Velocità del vento [m/s]
- Copertura totale del cielo [decimi]
- Visibilità [km]
- Precipitazioni piovose [mm]
- Altezza della neve al suolo [cm]
- Giorni dall'ultima nevicata [g]

Non tutti questi dati devono essere necessariamente indicati per poter lanciare la simulazione, tuttavia alcuni di essi possono influire maggiormente sulla precisione della stessa.

Le informazioni contenute nelle prime otto righe possono comunque essere inserite direttamente nel file .idf e in caso di compresenza di informazioni sul file meteo e sul file .idf il programma tiene conto di quest'ultime. In caso sia richiesta la presenza di impianti di climatizzazione nella simulazione, Energy Plus necessita di un ulteriore file in cui sono descritti i periodi tipici ed estremi dell'anno per poter effettuare il dimensionamento degli impianti (estensione del file .ddy).

Durante la simulazione e quindi nei risultati, il programma opera sempre in regime di ora solare, pertanto la lettura dei risultati deve tenere conto di questa impostazione; nei periodi dell'anno in cui vi è l'ora legale (impostabile dal software) Energy Plus agisce anticipando di un'ora tutti gli orari impostati nel file .idf (es. orari funzionamento degli impianti, di funzionamento dei termostati eccetera).

### **3.4. Programma di calcolo per la progettazione e gestione della cantina**

Una delle operazioni più complesse della progettazione della cantina oggetto di studio, riguarda la capacità d'integrare le varie discipline coinvolte nel progetto e gestirne i reciproci effetti. La progettazione integrata, anche ad un livello preliminare come in questo studio, deve essere in grado di valutare le principali ricadute delle scelte effettuate in un settore in tutti gli altri settori del progetto. Gli ambiti coinvolti nella progettazione di una cantina sono numerosi, dall'architettura all'enologia, dalla meteorologia alla chimica, e proprio per la vastità e la singolarità di tale processo di progettazione non è possibile reperire nel mercato un software che tenga in considerazione di tutti gli aspetti dei settori coinvolti e che ne valuti l'influenza reciproca. Numerosi software al contrario sono in grado di svolgere compiti specifici legati ad un singolo settore come ad esempio Autocad e SketchUp per il disegno tecnico, OpenStudio per la modellazione termica, Energy Plus per la simulazione energetica. La progettazione presentata in questo lavoro è, come detto, ad un livello preliminare, è richiesta quindi la sola definizione delle caratteristiche dell'edificio con il



grado di precisione di un dimensionamento. Per questa ragione la gestione dei dati provenienti dalle elaborazioni nelle varie discipline, risulta semplificata rispetto a progettazioni di dettaglio superiore e può avvenire quindi utilizzando un foglio elettronico.

La progettazione della cantina si è quindi basata sull'utilizzo di un foglio elettronico appositamente preparato e di più software specifici per il disegno tecnico e per le simulazioni termiche (Autocad, SketchUp, OpenStudio, EnergyPlus). I dati restituiti dai software sono stati raccolti ed elaborati attraverso lo stesso foglio elettronico. Il foglio è stato concepito a schede, una per ogni aspetto indagato nella progettazione e, una volta inseriti tutti i dati richiesti, gli effetti delle varie scelte progettuali nelle singole discipline sono immediatamente elaborati e visibili, restituendo così un indicazione immediata della bontà della scelta di progetto. Non immediata può risultare invece la modifica di alcune scelte progettuali, nello specifico si parla di modifiche che richiedono l'utilizzo dei software esterni al foglio di calcolo. In altre parole il foglio elabora istantaneamente le modifiche inerenti calcoli gestiti unicamente dal foglio come ad esempio la scelta fra vendemmia di tipo manuale o di tipo meccanico, modificando la scelta, la visualizzazione degli effetti è immediata, non avviene altrettanto per le modifiche che coinvolgono Autocad, SketchUp, OpenStudio o EnergyPlus (come ad esempio modificare la temperatura dei termostati nei locali climatizzati), proprio perché il foglio non gestisce il software esterno ma solo i suoi risultati. L'interazione fra i vari software è spiegata nello schema seguente:

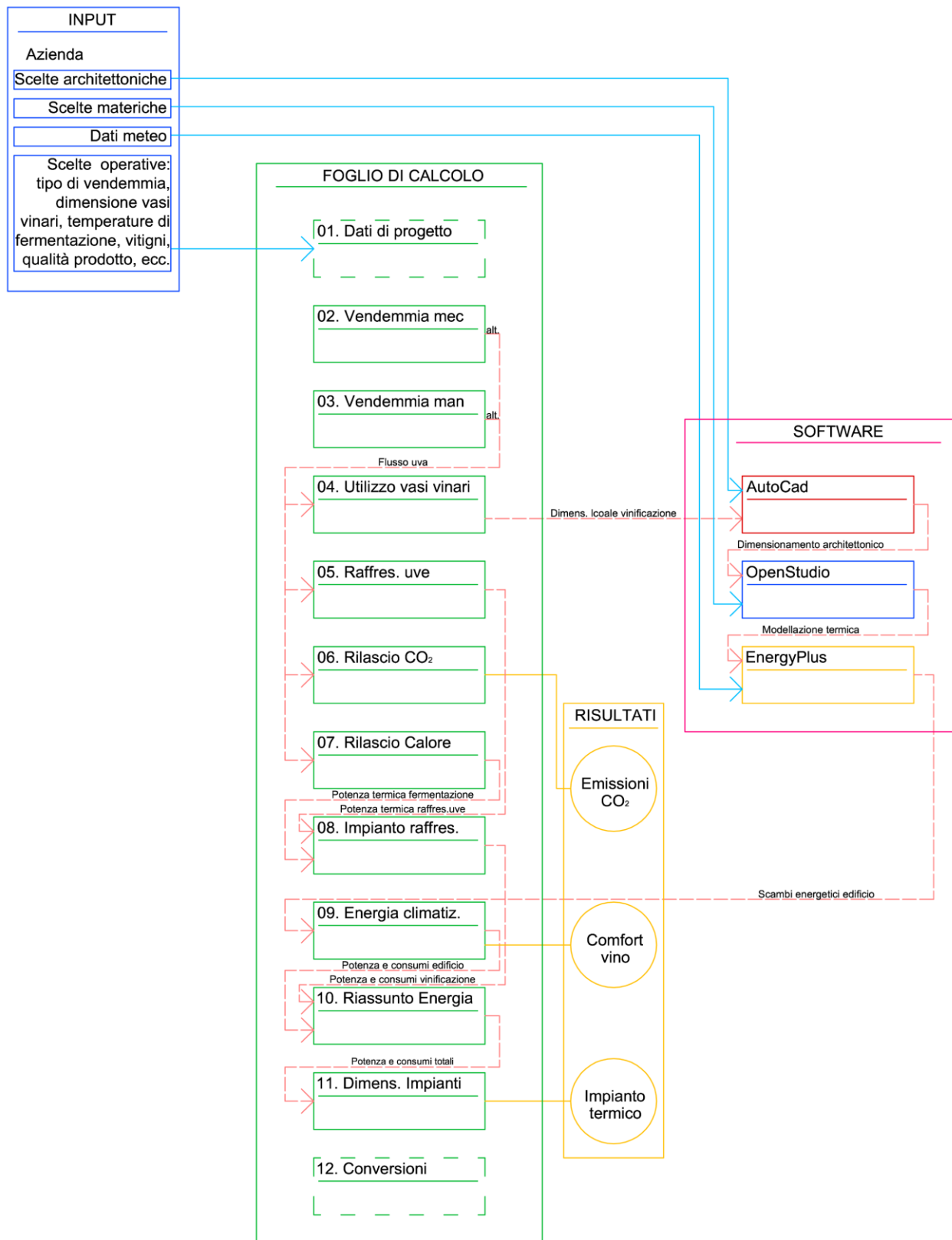


Figura 52 Schema foglio di calcolo

Il foglio di calcolo è stato concepito sul lavoro sviluppato durante il mio periodo di studio all'estero presso la UC Davis, sotto la supervisione del Professor Roger B. Boulton. L'idea alla base del foglio elettronico era quella di poter gestire una metodologia di calcolo raccogliendo e collegando tra loro i dati provenienti da diverse discipline implicate nella progettazione di una cantina, con il fine di organizzare il processo progettuale, indirizzando decisioni strutturali, enologiche, organizzative ed economiche.

La prova finale del corso consiste nella relazione tecnica inerente la progettazione funzionale di una cantina, l'elaborazione dei dati necessaria alla progettazione viene effettuata tramite l'utilizzo di un foglio di calcolo creato dagli studenti durante le lezioni. Nel foglio è possibile inserire i dati relativi all'azienda presa in considerazione, in particolare è possibile gestire la quantità di uva conferita, la resa della stessa, la temperatura di fermentazione desiderata, la dimensione dei vasi vinari e tante alte variabili progettuali che incidono sul dimensionamento della cantina e sul piano di ammortamento della stessa.

L'idea di un foglio di calcolo che possa elaborare e gestire i dati più importanti ai fini della progettazione è stata presa in considerazione in questa ricerca e sviluppata. Il foglio creato durante la mia frequentazione al corso del professor Boulton, è stato quindi adattato, ampliato e modificato per i fini di questa ricerca. Le schede in cui è suddiviso il foglio sono le seguenti:

1. Dati di progetto
2. Conferimento vendemmia meccanica
3. Conferimento vendemmia manuale (alternativo)
4. Cronoprogramma utilizzo vasi vinari
5. Calcolo energetico raffreddamento uve
6. Calcolo rilascio CO<sub>2</sub>
7. Calcolo rilascio calore
8. Calcolo potenza impianto di refrigerazione
9. Risultati calcolo energetico climatizzazione
10. Riassunto dati energetici
11. Dimensionamento impianto

## 12. Conversione unità di misura

Tutti i dati iniziali di progetto vengono inseriti nella prima scheda, nella scheda 9 si riportano i risultati restituiti dalla simulazione energetica effettuata con Energy Plus, nelle altre schede i dati immessi nelle schede 1 e 9 vengono elaborati restituendo informazioni utili alla definizione del progetto. I dati iniziali sono riportati come link nelle schede successive dove necessario. Il concetto alla base è che, modificando i dati della sole schede 1 e 9, si possa avere un riscontro immediato degli effetti di tali modifiche. Solo una minima parte dei dati di input è richiesta dalle altre schede, questo avviene quando il dato da immettere ha effetti solo sulla scheda corrente rendendo più comoda la gestione del foglio di calcolo.

### 3.4.1. Dati di progetto

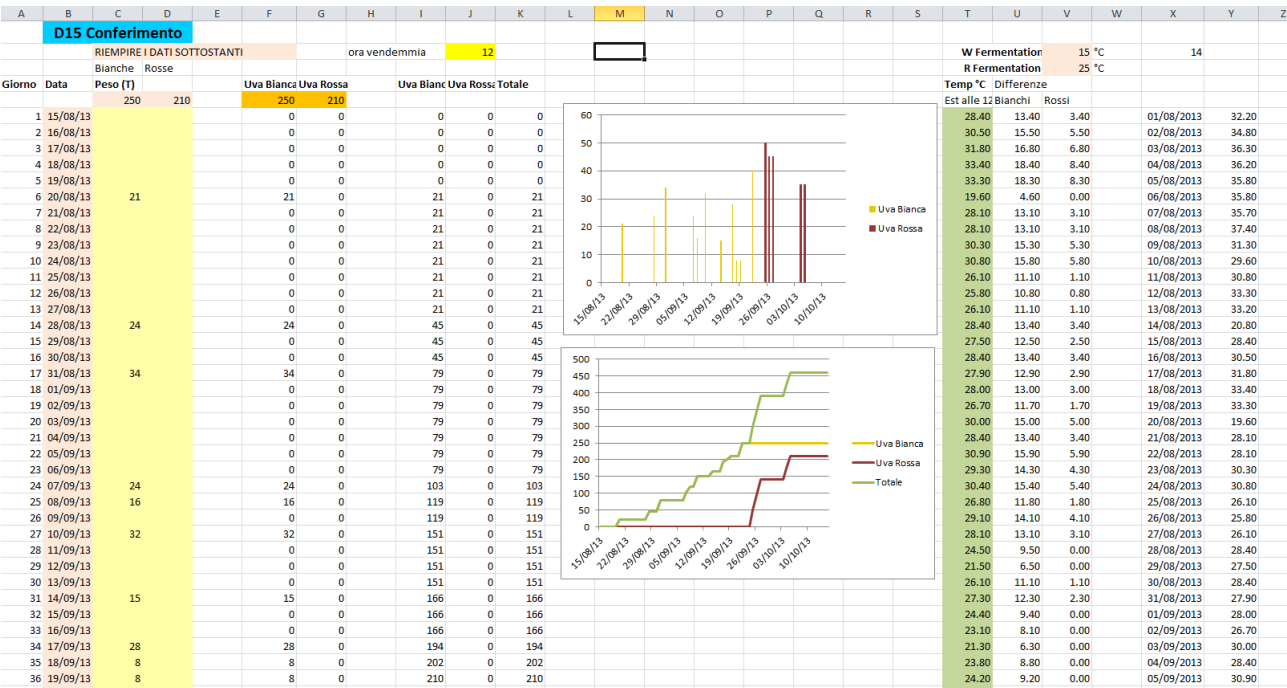
Come detto questa scheda presenta i dati necessari ai vari calcoli delle successive schede. Alcuni dati devono essere immessi (es: data di inizio della vendemmia, tipo di vendemmia, resa del vigneto, temperature di fermentazione, grado zuccherino delle uve, dimensione dei vasi vinari), altri vengono calcolati (es: rilascio calore e CO<sub>2</sub> durante la fermentazione, durata della fermentazione). In questo progetto sono riportati per semplicità 4 tipi di varietà di uve, 2 bianche e 2 rosse. La colorazione delle caselle è stata studiata per semplificare l'utilizzo del foglio, ad ogni colore corrisponde un'informazione (es: in giallo i dati da immettere, in arancione i dati calcolati ecc)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
	<b>D15 Dati di progetto</b>																			
	Inizio Vendemmia	15/08/13																		
	Vendemmia	mec	(MAN/MEC)																	
	NON RIEMPIRE I DATI NEL RIQUADRO ROSSO																			
	Dimensione	Resa	Quantità (T	Inizio	Durata	Mean	Std. Dev.				Previsto	Raccolto	Precisione							
	ha	q/ha	T	Data	giorni	giorni	giorni				T	T	2%			Brix	ICO2/l	gCO2/l	kJ/l	g CO2 a 2l (kJ/l a 20°C
	Chardonnay	12.5	100	125	17/08/13	10	6.0	1.67			Bianchi	250	250	OK!		24	53.82	105.72	127.76	54.76 129.98
	Albana	12.5	100	125	29/08/13	10	18.0	1.67								0	0.00		0.00	-4.98 -11.82
	San Giovese	9	100	90	08/09/13	8	27.0	1.33			Rossi	210	210	OK!		24	55.69	109.39	132.19	54.76 129.98
	Cabernet Sauvignon	12	100	120	13/09/13	10	33.0	1.67								0	0.00		0.00	-4.98 -11.82
		46		460		38														
	Volume succo	780	I/T		cooling	12	Btu/(gal°F)		ferment		415	btu/gal								
	Volume mosto	780	I/T			1.5	kJ/(l °C)				115	kJ/l								
	Temperatura mosto	25	°C						at 20°C		55	l/l								
	Temperatura mosto	25	°C		77	°F														
	Temp Fermentazione B	15	°C		59	°F														
	Temp Fermentazione R	25	°C		77	°F														
				pre	lag	ferm	post	total	mean	SD										
	Tempo nei Vasi B	15	°C	2	2	20	10	34	10	3.3										
	Tempo nei Vasi R	25	°C	2	2	10	10	24	5	1.7										
	Dimensione Vasi	Bianchi		15000	l															
		Rossi		15000	l															
	Cluster Volume	1800	L/Tonn	476	Gal/Ton															
	Juice Volume	600		159																
	Must Volume	900		238																
	Free Run Volume	480		127																
	Press Volume	120		32																

### 3.4.2. Conferimento da vendemmia meccanica

I dati di questa scheda vengono utilizzati nel calcolo qualora nella scheda 1 si sia scelta la vendemmia meccanica. I dati sono stati ricavati dai registri della azienda caso studio. La scheda richiede l'inserimento delle quantità di uva conferita per ogni giorno di vendemmia e mostra graficamente l'uva conferita giornalmente e il totale dei conferimenti giorno dopo giorno. Viene

inoltre valutata la differenza di temperatura fra il campo e la temperatura richiesta in fermentazione, dato utile per il calcolo del raffreddamento delle uve.



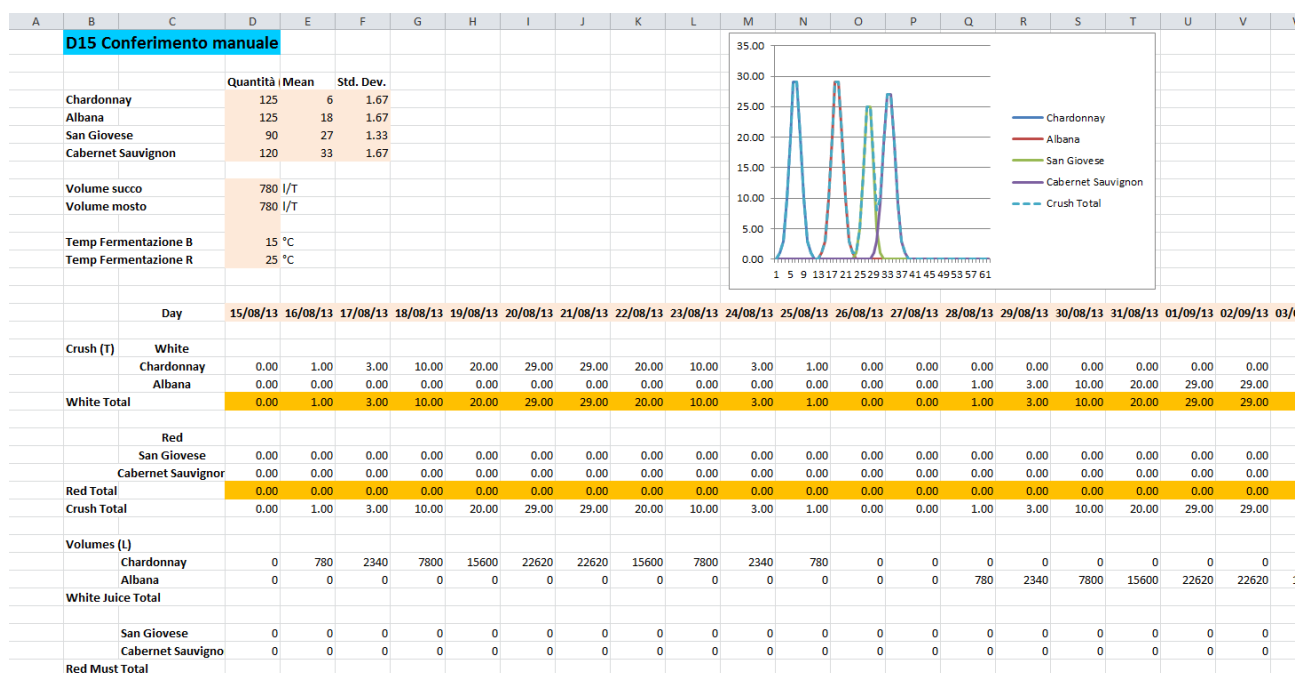
### 3.4.3. Conferimento da vendemmia manuale (alternativa alla 2)

I dati di questa scheda vengono utilizzati nel calcolo qualora nella scheda 1 si sia scelta la vendemmia manuale. Scegliendo questo opzione si ipotizza un conferimento giornaliero delle uve non uniforme in termini di quantità per ogni singolo vitigno. Il conferimento segue una distribuzione gaussiana determinata dal primo giorno di vendemmia per quel vitigno e dalla durata della stessa. La formula è del tipo:

#### Equazione 2 Distribuzione normale

$$U_{\mu} = \frac{U_t}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

dove la varianza  $U_{\mu}$  è l'uva conferita nel giorno  $\mu$  (massa),  $\sigma$  è pari ad un sesto della durata delle vendemmia (giorni),  $\mu$  è il giorno di vendemmia. Questa formula è stata desunta dagli insegnamenti del corso di Winery Design. Anche in questo caso viene calcolata la differenza di temperatura fra il campo al momento della raccolta e la temperatura desiderata di fermentazione.



### 3.4.4. Cronoprogramma utilizzo vasi vinari

I dati inerenti la modalità di conferimento, la scelta della capacità dei vasi vinari e il tempo della fermentazione, vengono elaborati in questa scheda per mostrare l'utilizzo dei vasi vinari e quindi determinare il numero dei vasi necessari. Questa scheda è di fondamentale importanza per il dimensionamento architettonico della cantina, infatti è proprio il numero dei vasi il dato più importante per determinare la dimensione della sala di vinificazione, la quale rappresenta oltre la metà del volume totale dell'edificio. L'elaborazione dei dati restituisce anche in forma grafica il numero di vasi utilizzati giorno per giorno mostrando i vasi destinati alla produzione di vino rosso, bianco e totale.



[illegible]

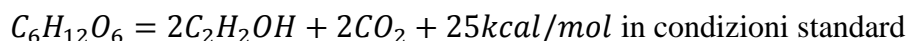
### 3.4.5. Calcolo energetico raffreddamento uve

Questa scheda riceve in input la differenza la quantità delle uve consegnate giorno per giorno (scheda 2, alt. 3) in base alla modalità di conferimento scelta nella scheda 1 e la differenza di temperatura tra campo e fermentazione. la scheda restituisce ora per ora le potenze medie orarie (e quindi l'energia) necessarie per l'abbassamento della temperatura dell'uva al livello desiderato. In essa è possibile gestire il tempo richiesto per l'abbattimento modificando quindi la potenza di picco.

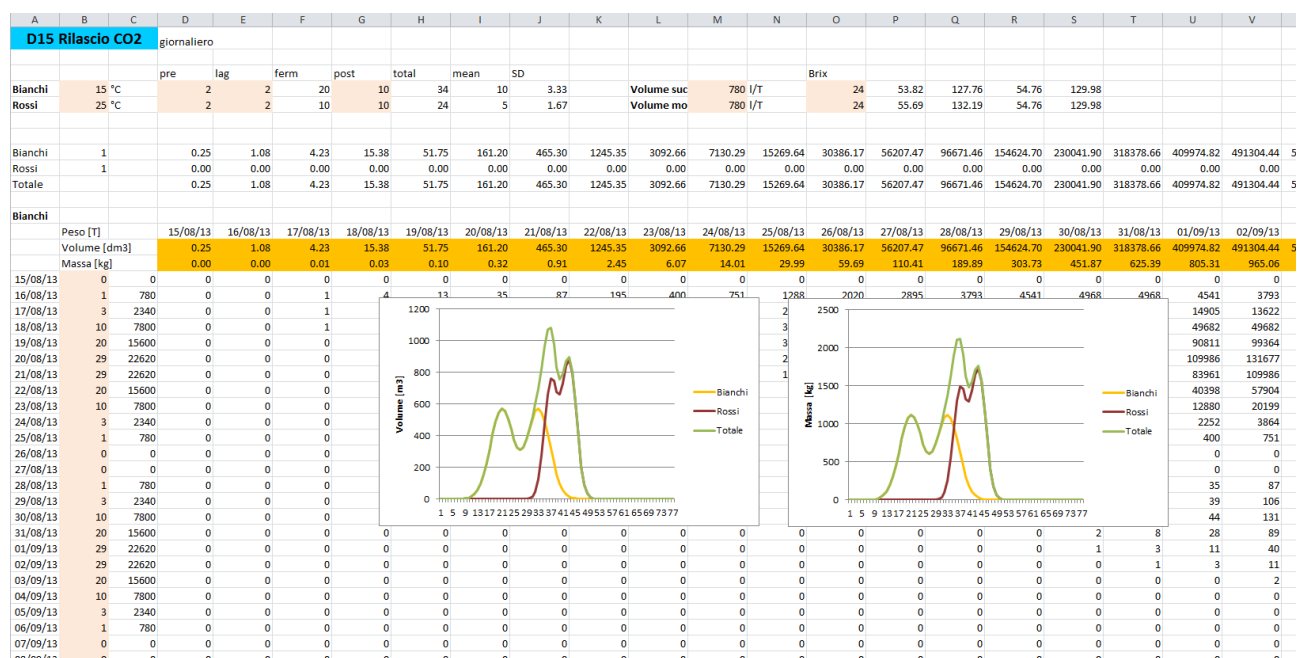
[illegible]

### 3.4.6. Rilascio CO<sub>2</sub>

Questa scheda e la successiva mostrano due effetti della fermentazione alcolica (la cui reazione chimica è mostrata con la Equazione 1 Formula di Gay-Lussac per la fermentazione alcolica):



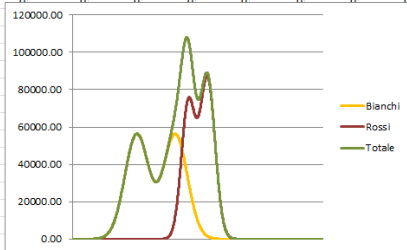
Quindi per ogni mole di zucchero, si ottengono 2 moli di alcol, 2 di anidride carbonica e 25 kcal. La scheda 6 quantifica il rilascio della CO<sub>2</sub> espressa in volume e massa dovuta alla fermentazione. Questi risultati dipendono dalla quantità dell'uva, dal periodo di conferimento, dalle rese dell'uva, dal grado zuccherino e dalla temperatura di fermentazione. Il rilascio della CO<sub>2</sub>, è utile per valutare l'impatto ambientale della cantina (o per dimensionare eventuali impianti per la cattura dell'anidride carbonica)



### 3.4.7. Rilascio calore

Questa scheda come la precedente, valuta gli effetti della fermentazione e ha in input gli stessi dati della scheda precedente. Viene qui mostrato il rilascio del calore espresso in kWh e in kJ. Il rilascio del calore risulta essere dato di fondamentale importanza per il dimensionamento degli impianti e per il calcolo del loro consumo, per questa ragione il rilascio è calcolato su base oraria, a differenza della produzione di CO<sub>2</sub> che è valutato su base giornaliera.

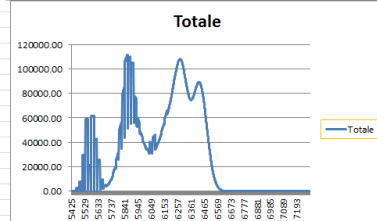
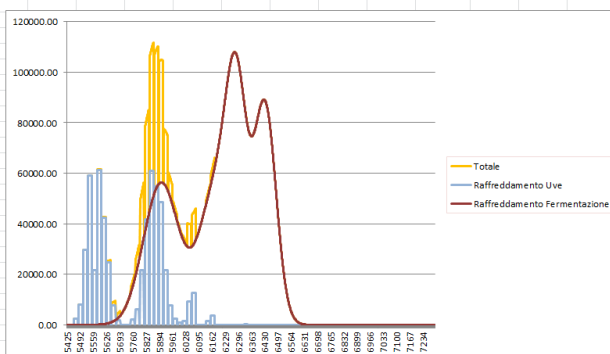
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
D15 Rilascio Calore			orario																				
			pre	lag	ferm	post	total	mean	SD														
Bianchi	15 °C		2	2	20	10	34	10	3.333333	0	Volume s	780 l/T		24	53.82164	127.76	54.75556	129.9769					
Rossi	25 °C		2	2	10	10	24	5	1.666667	0	Volume r	780 l/T		24	55.68947	132.1938	54.75556	129.9769					
Calore Rilasciato durante la Fermentazione																							
	Max Kw		29.99	15.67	24.29		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Max kJ/h		107971.48	56399.02	87429.47	15/08/13	16/08/13	17/08/13	18/08/13	19/08/13	20/08/13	21/08/13	22/08/13	23/08/13	24/08/13	25/08/13	26/08/13	27/08/13	28/08/13	29/08/13	30/08/13	31/08/13	01/09/13
24	3600 Tot kJ		46559620	25112501	21447119		0	1	3	10	20	29	29	20	10	3	1	0	0	1	3	10	20
Data	Ora	Totale	Bianchi	Rossi			0	780	2340	7800	15600	22620	22620	15600	7800	2340	780	0	0	780	2340	7800	15600
1	15/08/13	1	0.03	0.03	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15/08/13	2	0.03	0.03	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15/08/13	3	0.03	0.03	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	15/08/13	4	0.03	0.03	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15/08/13	5	0.03	0.03	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	15/08/13	6	0.04	0.04	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15/08/13	7	0.04	0.04	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	15/08/13	8	0.04	0.04	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15/08/13	9	0.04	0.04	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15/08/13	10	0.05	0.05	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15/08/13	11	0.05	0.05	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	15/08/13	12	0.05	0.05	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15/08/13	13	0.06	0.06	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15/08/13	14	0.06	0.06	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	15/08/13	15	0.06	0.06	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15/08/13	16	0.07	0.07	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	15/08/13	17	0.07	0.07	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	15/08/13	18	0.07	0.07	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	15/08/13	19	0.08	0.08	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	15/08/13	20	0.08	0.08	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	15/08/13	21	0.09	0.09	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	15/08/13	22	0.09	0.09	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	15/08/13	23	0.10	0.10	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	15/08/13	24	0.11	0.11	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	16/08/13	1	0.11	0.11	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	16/08/13	2	0.12	0.12	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	16/08/13	3	0.13	0.13	0.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



### 3.4.8. Calcolo potenza impianto di refrigerazione

L'ottava scheda raccoglie i dati provenienti dalle potenze richieste dagli impianti di refrigerazione e restituisce il dato per il dimensionamento dell'impianto di refrigerazione ovvero la potenza massima necessaria. In questo foglio è stato messo un controllo tale per cui la potenza richiesta dal raffreddamento delle uve non sia superiore a quella richiesta dal raffreddamento della fermentazione. Il raffreddamento delle uve e la fermentazione possono essere gestiti in modo tale che la potenza massima dell'impianto coincida con quella richiesta dalla sola fermentazione agendo sulla durata del processo di raffreddamento delle uve o sull'orario delle raccolta. Pertanto i dati restituiti da questa scheda sono importanti per la gestione degli orari della vendemmia.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
<b>D15 Potenza Impianto</b>																									
<b>OK!</b>																									
			Totale			Raffreddamento Uve																			
	Max Kw		31.03			17.05	17.05	3.48																	
	Max kJ/h		111700			61368	61368	12519																	
24	3600 Tot kJ		57676019			11116399	10525493	590906																	
5424	Data	Ora	Totale			Totale	Bianchi	Rossi																	
5425	15/08/13	1	0.03			0.00	0.00	0.00																	
5426	15/08/13	2	0.03			0.00	0.00	0.00																	
5427	15/08/13	3	0.03			0.00	0.00	0.00																	
5428	15/08/13	4	0.03			0.00	0.00	0.00																	
5429	15/08/13	5	0.03			0.00	0.00	0.00																	
5430	15/08/13	6	0.04			0.00	0.00	0.00																	
5431	15/08/13	7	0.04			0.00	0.00	0.00																	
5432	15/08/13	8	0.04			0.00	0.00	0.00																	
5433	15/08/13	9	0.04			0.00	0.00	0.00																	
5434	15/08/13	10	0.05			0.00	0.00	0.00																	
5435	15/08/13	11	0.05			0.00	0.00	0.00																	
5436	15/08/13	12	0.05			0.00	0.00	0.00																	
5437	15/08/13	13	0.06			0.00	0.00	0.00																	
5438	15/08/13	14	0.06			0.00	0.00	0.00																	
5439	15/08/13	15	0.06			0.00	0.00	0.00																	
5440	15/08/13	16	0.07			0.00	0.00	0.00																	
5441	15/08/13	17	0.07			0.00	0.00	0.00																	
5442	15/08/13	18	0.07			0.00	0.00	0.00																	
5443	15/08/13	19	0.08			0.00	0.00	0.00																	
5444	15/08/13	20	0.08			0.00	0.00	0.00																	
5445	15/08/13	21	0.09			0.00	0.00	0.00																	
5446	15/08/13	22	0.09			0.00	0.00	0.00																	
5447	15/08/13	23	0.10			0.00	0.00	0.00																	
5448	15/08/13	24	0.11			0.00	0.00	0.00																	
5449	16/08/13	1	0.11			0.00	0.00	0.00																	
5450	16/08/13	2	0.12			0.00	0.00	0.00																	
5451	16/08/13	3	0.13			0.00	0.00	0.00																	
5452	16/08/13	4	0.13			0.00	0.00	0.00																	
5453	16/08/13	5	0.14			0.00	0.00	0.00																	



### 3.4.9. Risultati calcolo energetico climatizzazione

In questa scheda vengono riassunti i dati provenienti dalla simulazione energetica effettuata con il software Energy Plus. Essa restituisce le energie e le potenze necessarie per la climatizzazione degli ambienti. Le energie così calcolate rappresentano i carichi termici che l'impianto termico deve introdurre o asportare dall'edificio per il mantenimento delle temperature prefissate. Il programma restituisce inoltre le temperature dei locali non climatizzati, dalle quali si ottengono gli indicatori (Discomfort ed Attenuazione, meglio descritti nel Paragrafo 3.6) che riassumono l'idoneità termica di locali non climatizzati ad ospitare il prodotto per periodi prolungati.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
		AGR.min		01.VIN		T ref [°C]	15									
				media		swing (+/-)	3									
LOCALI NON CLIMATIZZATI								Out								
1 DISCOMFORT				12	18	Rif [°C]										
				Difetto	Eccesso	Totale		-26627	20419	47047						
	01.VIN	discomfort [h]		3310	3649	6959		6684	-4.11%	#NUM!						
		disc/anno [%]		37.79%	41.66%	79.44%		76.30%	-4.11%	#NUM!						
		discomfort [gh]		-17906	21082	38988		47047	17.13%	4.139						
		disc/out [%]		67.25%	103.25%	82.87%										
	03.IMB	discomfort [h]		3266	3791	7057		6684	-5.58%	#NUM!						
		disc/anno [%]		37.28%	43.28%	80.56%		76.30%	-5.58%	#NUM!						
		discomfort [gh]		-16274	20489	36763		47047	21.86%	4.675						
		disc/out [%]		61.12%	100.34%	78.14%										
2 SFASAMENTO E ATTENUAZIONE																
		Periodo														
		22		7												
		5		8		Standard	Test	36.23								
	01.VIN	Sfasamento [h]				1.14	2.38	12	9.52%	19.87%	3.086	4.458				
		Attenuazione [°C]				4.15	6.69	21.23	19.57%	31.51%	4.424	5.614				
	03.IMB	Sfasamento [h]				3.57	3.57	12.00	29.76%	29.76%	5.455	5.455				
		Attenuazione [°C]				6.94	7.09	21.23	32.69%	33.40%	5.718	5.779				
3 STABILITA'																
						Standard	Test									
	01.VIN	inversione [ore]				10.27	11.50	5.85								
		picchi [n]				853	762	1498	43.06%	49.13%	6.562	7.009				
		ΔT medio (+/-)				0.344	0.225	0.785	56.15%	71.35%	7.493	8.447				
	03.IMB	inversione [ore]				8.77	8.73	5.848								
		picchi [n]				999	1004	1498.000	33.31%	32.98%	5.772	5.743				
		ΔT medio (+/-)				0.154	0.154	0.785	80.40%	80.44%	8.966	8.969				
LOCALI CLIMATIZZATI																
1 ENERGIA [kWh]						Risc	Raffr									
	02.BAR	Energia [kWh]				9550	9707									
		A [m2] E [kWh/m2]		159		60.06	61.05									
		V[m3] E[kWh/m3]		715		13.36	13.58									
	05.UFF	Energia [kWh]				4786	1152									
		A [m2] E [kWh/m2]		75		63.81	15.36									
		V[m3] E[kWh/m3]		322		14.86	3.58									
	06.LAB	Energia [kWh]				2336	312									
		A [m2] E [kWh/m2]		26		89.87	11.99									
		V[m3] E[kWh/m3]		126		18.54	2.47									

### 3.4.10. Riassunto dati energetici

Tutti i dati inerenti gli scambi energetici vengono riportati in questa scheda per individuare consumi complessivi e potenze richiesti ai fini del dimensionamento dell'impianto



### 3.4.12. Conversioni

Questa scheda contiene tutti i dati utili alle conversioni fra unità di misura e in essa vengono effettuati i calcoli relativi alle formule chimiche e alla distribuzione gaussiana del conferimento manuale delle uve.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Conversioni					Fermentazione								
	Gal =	3.7854 l								Glucosio	Alcool etil	Anidride c	Calore
	Btu =	1055.87 J								Formula	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	CO <sub>2</sub>
	°F =	0.555556 °C											25.4
temp		0	32	1.8						peso mole	180	46	44
		100	212							Moli	1	2	2
										grammi	180	92	88
Fermentation			rif	20 °C									
				24 °Brix									
mole/l sug		180		273.15									
mole CO <sub>2</sub> /mole sug		2											
CO <sub>2</sub>		22.4 L/mol											
		44 g/mol											
Heat		106.3447 kJ/mol											
		20											
densità CO <sub>2</sub>		0.001964 kg/m <sup>3</sup>		g/l									
		1.964286											
calore specifico													
mosto		3.8 kJ/(kg°C)											
vino		4.5 kJ/(kg°C)											
densità													
mosto		1090 kg/m <sup>3</sup>											
vino		990 kg/m <sup>3</sup>											
1 kWh		3600 kJ											
1 cal		4.1868 J											

### 3.4.13. Applicazione della metodologia di calcolo

La metodologia di calcolo proposta in questo paragrafo è stata applicata ad un edificio di nuova costruzione ipotizzato all'interno del caso studio "Azienda Branchini". L'ipotesi per la progettazione è la seguente: si è supposta la conversione a vigneto di 30 ettari di proprietà dell'azienda attualmente coltivati a seminativo, aggiungendosi ai 20 ettari già esistenti, aumentando la produzione di vino del prodotto a circa 5000 hl annui, valore in linea con le produzioni dell'indagine effettuata. Si ipotizza di applicare il metodo a diverse soluzioni edilizie diverse fra loro per aspetti distributivi e materici e di confrontare poi i risultati ottenuti dal foglio di calcolo per poter valutare le performance energetiche.

L'azienda in oggetto propone un'elevata varietà di prodotti in relazione alla terra coltivata. In questo lavoro, per semplicità, sono state considerate solo quattro differenti varietà, due bianchi e due rossi: Albana e Chardonnay, Sangiovese e Cabernet Sauvignon. Questa semplificazione è utile per facilitare la comprensione del metodo progettuale, ma non ne inficia la validità. All'interno dell'azienda vengono quindi svolti i processi di vinificazione sia in bianco sia in rosso e una parte di quest'ultimo (una percentuale compresa fra il 10% e il 20%) viene affinata in barrique.



Si è ipotizzato di sostituire gli edifici esistenti, ritenuti obsoleti e volumetricamente inadeguati, con un nuovo edificio che possa accogliere tutte le funzioni ipotizzate nella ricerca (vedi Paragrafo 3.1.5)

Quindi tutte le funzioni anche di commercializzazione, degustazione e prima conservazione, attualmente collocate in edifici separati, saranno ricollocate all'interno di un unico edificio.

La progettazione è stata impostata in tre fasi: metaprogettazione, definizione dei criteri per la valutazione energetica dell'edificio ed infine modellazione e simulazione energetica dell'edificio.

### **3.5. Metaprogettazione**

#### **3.5.1. Definizione delle unità funzionali e dei relativi spazi da ospitare nel nuovo edificio**

Lo studio svolto dal gruppo di ricerca, illustrato al Paragrafo 3.1.2, ha consentito di valutare le aree funzionali da inserire nel progetto (Torreggiani et al. 2011).

Le unità funzionali di una cantina, già definite nel Paragrafo 3.1.5, sono le seguenti:

- 1) Tettoia esterna scarico uva (opzionale);
- 2) Locale di vinificazione (produzione mosto, contenimento vasi vinari);
- 3) Deposito additivi e coadiuvanti tecnologici;
- 4) Servizi igienici addetti;
- 5) Spogliatoi;
- 6) Docce;
- 7) Confezionamento bottiglie (opzionale);
- 8) Deposito bottiglie (opzionale);
- 9) Invecchiamento (opzionale);
- 10) Commercializzazione (opzionale);
- 11) Servizi igienici ospiti (opzionale);
- 12) Degustazione (opzionale).

Dall'indagine effettuata risulta che cantine con produzione prossima ai 4000hl annui, tendenzialmente contengono al loro interno tutte le unità sopra elencate comprese quelle opzionali. In aggiunta a queste, per completezza di trattazione, si è pensato di collocare altre unità per:

- 13) Analisi sull'uva e sul prodotto,
- 14) Amministrazione;
- 15) Spumantizzazione.

Una volta definite le quindici aree funzionali si è proceduto con l'individuazione degli spazi e quindi i volumi che possano ospitarle. Alcune attività possono essere compresenti infatti all'interno di uno stesso volume, mentre altre devono avere una loro indipendenza e delimitazione fisica. L'analisi è stata affidata al concetto di semplificazione di flussi operativi, confronto con realtà esistenti, sensibilità o volontà dell'azienda dedotte dall'indagine svolta.

Aree di conferimento delle uve (1) – essa è l'unica area esterna, pertanto gode necessariamente di autonomia. Il suo limitato impiego durante l'anno (spesso inferiore ai due mesi), la necessità di spazi di manovra ampi, il rapporto diretto con i campi, uniti ai limiti volumetrici o di superficie imposti dagli strumenti edilizi, suggeriscono, a differenza degli altri spazi, la sua collocazione all'esterno, provvedendo al riparo dell'area operativa ricorrendo ad una tettoia (fissa o rimovibile) per prevenire o quantomeno ridurre le problematiche dovute ad eventuali intemperie o eccessivo soleggiamento.

**Volume 1 – (01.VIN)** Il volume più grande all'interno della cantina è sicuramente il locale di vinificazione (2). Viste le dimensioni medio-piccole dell'azienda, le operazioni di produzione del mosto e di fermentazione possono essere ospitate in un unico volume, al fine di semplificare i flussi operativi ma anche per garantire una certa flessibilità in fase di produzione e stoccaggio. La dimensione standard dei vasi vinari per queste produzioni, non superando i 2,5-3 metri di diametro per questioni di trasporto, possono raggiungere i 6-7 metri di altezza. Questa dimensione, considerando anche le necessità di lavorazioni in sommità ai vasi impone altezze nette interne di circa 8 metri. Le dimensioni della pianta sarà determinata dal numero dei vasi vinari, determinato dal foglio di calcolo e dalla loro dimensione. Il volume ovviamente dovrà avere accesso diretto all'area di conferimento e possibilmente anche all'area di invecchiamento, dovrà inoltre essere collocato al piano più basso in caso di edificio multipiano. La normativa energetica non impone il riscaldamento del locale, le condizioni termiche al suo interno però, sono molto importanti in quanto possono creare un ambiente favorevole per la conservazione del vino.

**Volume 2 – (02.BAR)** Il locale di invecchiamento o barricaia (9), dovrà essere il più possibile contiguo all'area di vinificazione e dovrà essere protetto da eccessivo illuminamento, temperature estreme e sbalzi termici e in caso di invecchiamento in botti o barrique dovrà anche conservare un'elevata umidità relativa, al fine di limitare l'evaporazione del vino attraverso le porosità del legno. Il suo dimensionamento avverrà in funzione della quantità di prodotto che l'azienda intende affinare, dal tempo di affinamento e dal tipo di recipiente utilizzato. Le sue specifiche suggeriscono che il locale debba essere privo di aperture verso l'esterno e debba essere collocato allo stesso piano del locale di vinificazione. Le barrique possono essere poste anche su più livelli grazie ad appositi sostegni, rendendo utilizzabile lo spazio di conservazione per tutta la sua altezza. Sebbene le condizioni termoigrometriche imposte non siano le ideali per il benessere dell'essere umano, si è pensato di collocare nello stesso volume l'unità relativa alla degustazione (12) del prodotto. Infatti spesso azienda e cliente preferiscono l'ambiente suggestivo di una barricaia per l'esperienza di degustazione del prodotto. La normativa in ambito energetico non prescrive il riscaldamento per questo locale, ma ritenendo molto importanti le condizioni termoigrometriche nell'invecchiamento, il presente progetto prevede che questo locale sia climatizzato.

**Volume 3 – (03.IMB)** La dimensione produttiva dell'azienda giustifica la presenza di un locale di imbottigliamento e confezionamento (7). Il locale è pensato per contenere due macchine imbottigliatrici e, per motivi di semplicità logistica, uno spazio per un primo immagazzinamento delle bottiglie (8). L'altezza dei macchinari non implica altezze superiori ai tre metri. Il vino viene trasportato alla macchina di imbottigliamento tramite delle pompe, per cui non ha vincoli di vicinanza con altri locali. L'area per l'imbottigliamento però deve poter consentire il trasporto delle bottiglie e dei relativi contenitori dall'esterno della struttura all'interno, questa necessità suggerisce di collocare il volume al piano terra in caso di edificio multipiano. Per questo locale non è previsto riscaldamento o raffrescamento.

**Volume 4 – (04.SPU)** L'unità funzionale della spumantizzazione (15) prevede la presenza di un'autoclave. Il prodotto in ingresso ed in un'uscita è movimentato tramite pompe e le dimensioni dell'autoclave non richiedono altezze del locale superiori ai 3 metri. Essendo appunto il prodotto trasportato tramite pompa sia in ingresso sia in uscita, il volume ospitante l'unità di spumantizzazione può essere ubicato ovunque all'interno dell'edificio cantina. Per questo locale non è previsto riscaldamento o raffrescamento.

**Volume 5 – (05.UFF)** Le attività amministrative (14) e di prima commercializzazione (10) sono state collocate in un unico volume. Dal punto di vista normativo esse sono equiparate ad attività di lavoro terziario, il locale che le ospita quindi deve avere aerazione, illuminazione e altezza adeguate e deve prevedere servizi igienici per gli ospiti (11). La collocazione ideale ma non vincolante di tale

volume è il piano terra o il primo piano, da evitare piani interrati. La normativa impone che il locale sia riscaldato. Nel presente progetto è previsto climatizzato.

**Volume 6 – (06.LAB)** In questo volume saranno presenti postazioni e strumentazioni per analisi sull'uva e sul prodotto (13). Esso conterrà, opportunamente separati, i relativi servizi igienici (4). Il progetto dovrà favorire la vicinanza di questo spazio al locale di vinificazione. La normativa impone che il locale sia riscaldato. Nel presente progetto esso è previsto climatizzato.

**Volume 7 – (07.TEC)** Questo spazio fungerà da deposito per additivi e coadiuvanti tecnologici (3) compresi gli impianti termici. All'interno di questo volume, vi saranno anche servizi igienici (4), spogliatoi (5) e docce (6). Non richiede particolari specifiche di altezza o vicinanza con altri locali se non quello di vinificazione.

In conclusione, l'altezza minima del locale di vinificazione, doppia rispetto gli altri locali, suggerisce di dimensionare l'altezza minima interna dell'edificio secondo le esigenze del locale di vinificazione e quindi, per ottimizzare lo spazio, di collocare gli altri volumi su due livelli. Nel complesso quindi una parte dell'edificio sarà priva di divisioni interne orizzontali ed ospiterà i vasi vinari, l'altra parte sarà divisa orizzontalmente in due piani da un solaio consentendo la disposizione degli altri volumi su due livelli. Questa impostazione progettuale impone un ulteriore volume:

**Volume 8 – (08.VER)** Collegamenti verticali. Esso dovrà contenere i collegamenti tra i due livelli (scale ed ascensori o montacarichi) per consentire il trasporto di persone e materiali da un piano all'altro. Non ha bisogno di specifiche di climatizzazione.

Riassumendo: le 15 unità ipotizzate sono state raccolte in 8 volumi disposti su due livelli. L'accorpamento di tali unità è stato eseguito tenendo conto di esigenze funzionali, dimensionali ed energetiche riassunte in Tabella 3.

**Tabella 3 Schema riassuntivo dei volumi di progettazione**

Volume	Unità ospitate	Altezza [m]	Collocazione ideale	Riscald. obblig.	Clima progetto
01.VIN	(2)	7	Basso	NO	NO
02.BAR	(9),(12)	Indifferente	Vicino 01	NO	SI
03.IMB	(7),(8)	3	Piano Terra	NO	NO
04.SPU	(15)	3	Indiff.	NO	NO
05.UFF	(10),(11),(14)	3	No interrato	SI	SI
06.LAB	(4),(13)	3	Vicino 01	SI	SI
07.TEC	(3), (4),(5),(6)	3	Vicino 01	NO	NO
08.VER	-	7	Tutta altezza	NO	NO

### 3.5.2. Scelta del sito di costruzione e conseguenti valutazioni

L'area edificabile in cui dovrà sorgere la nuova cantina è adiacente al centro aziendale esistente, il quale è delimitato a sud dall'autostrada A14 e a nord dalla strada comunale di accesso all'azienda. L'area è prevalentemente pianeggiante leggermente pendente verso sud. La fascia di rispetto autostradale è stata considerata di 60 metri e l'inedificabilità collegata alla presenza della strada comunale vale per una fascia di 10 metri ai lati della strada stessa calcolata a partire dal ciglio. Anche i terreni a nord della strada comunale sono di proprietà dell'azienda ma non sono stati presi in considerazione per evitare che nuovo e vecchio centro aziendale siano separati da altre proprietà (vedi Figura 53).



Figura 53 Vista dall'alto dell'azienda caso-studio

L'orientamento dell'edificio, sebbene influente sulle prestazioni energetiche, non è stato considerato tra le varianti del progetto a causa di vincoli legati alla preesistenza, pertanto esso è stato definito parallelo alla strada (come gli altri edifici esistenti). Inoltre questa soluzione rende molto visibile la nuova struttura dall'autostrada, aspetto tutt'altro che trascurabile per l'immagine aziendale.

### **3.5.3. Dimensionamento dell'edificio**

01.VIN – La sala di vinificazione è la parte più importante in termini produttivi e dimensionali dell'edificio. Questa parte dell'edificio deve poter contenere i vasi vinari e garantire sufficiente spazio per le operazioni che riguardano il processo di vinificazione. Il numero e le dimensioni dei vasi sono quindi determinanti nel dimensionamento. Per questo studio si è considerato un unico modulo di base per i fermentini, (in altre parole tutti i fermentini saranno della stessa capacità e delle stesse dimensioni). La scelta delle dimensioni dei vasi vinari può derivare da diverse considerazioni, le principali sono di tipo economico (per esempio, capacità maggiori hanno un costo, riferito all'unità di volume, minore) e di tipo enologico (ad esempio la preparazione di un vino di qualità può richiedere capacità minori per meglio selezionare il prodotto finale). Questa scelta ha, come accennato in precedenza, ricadute progettuali importanti, tra cui: dimensioni e conseguenti fabbisogni di spazio e di altezza libera, carichi prodotti sui solai, ecc.

Nel presente progetto e nella maggior parte delle cantine indagate, i vasi vinari devono svolgere le seguenti funzioni: poter contenere il mosto durante la fermentazione in bianco e in rosso ed essere utilizzati come stoccaggio una volta finito il processo di vinificazione. Queste tre funzioni necessitano di tre tipi di vasi differenti: vaso climatizzato per la fermentazione in bianco, vaso climatizzato e con sistema di rimontaggio per la fermentazione in rosso e vaso non climatizzato per lo stoccaggio. Il vaso per la fermentazione in rosso può assolvere anche le altre funzioni, quello per la fermentazione in bianco può assolvere anche la funzione di stoccaggio, il terzo tipo di vaso non è adatto per le fermentazioni. È pertanto possibile utilizzare tutti i vasi come vasi di stoccaggio una volta terminate le fermentazioni.

Per determinare la capacità tipo del vaso vinario si è analizzato il conferimento giornaliero delle uve rosse, per i motivi di seguito esposti. I valori dei volumi di mosto considerati nei calcoli, tengono in considerazione l'aumento di volume causato dalla produzione tumultuosa di CO<sub>2</sub> (quantità variabile a seconda del tipo di vinificazione) e dal modo di conduzione della fermentazione (uso di rimontaggi o follature, loro frequenza e modalità di esecuzione, controllo della temperatura e relativi valori). A parità di uva conferita infatti, il fabbisogno di volume di vinificazione è maggiore per le vinificazioni in rosso, rispetto al bianco per la presenza delle vinacce. Pertanto, per determinare la capacità del vaso tipo, si analizzano i dati relativi al conferimento di uve rosse. Si analizzano quindi i valori dei conferimenti giornalieri di uva rossa, assumendo che la capacità del vaso tipo coincida con il volume di fermentazione minimo giornaliero o con un suo sottomultiplo: il foglio di calcolo mostra che, scegliendo un valore di 150hl, si garantirebbe che almeno un vaso venga interamente riempito ogni giorno in cui si conferisce l'uva per il vino rosso e lo stesso avvenga per la maggior parte dei giorni in cui si vendemmiano le uve per la produzione di bianco.



Una soluzione ideale per la funzionalità dell'azienda sarebbe quella di avere una dimensione dei vasi tali per cui in ogni giorno di vendemmia si riempia almeno un vaso. Questo avverrebbe per vasi da 60hl circa nel caso di vendemmia meccanica (vedi Figura 54) e 30hl nell'ipotesi di vendemmia manuale (vedi Figura 55). L'indagine svolta indica che queste dimensioni non sono diffuse in quanto il miglioramento dell'efficienza di lavorazione sarebbe contrastato dall'aumento dei costi per unità di prodotto e dall'aumento delle dimensioni in pianta della sala di vinificazione.

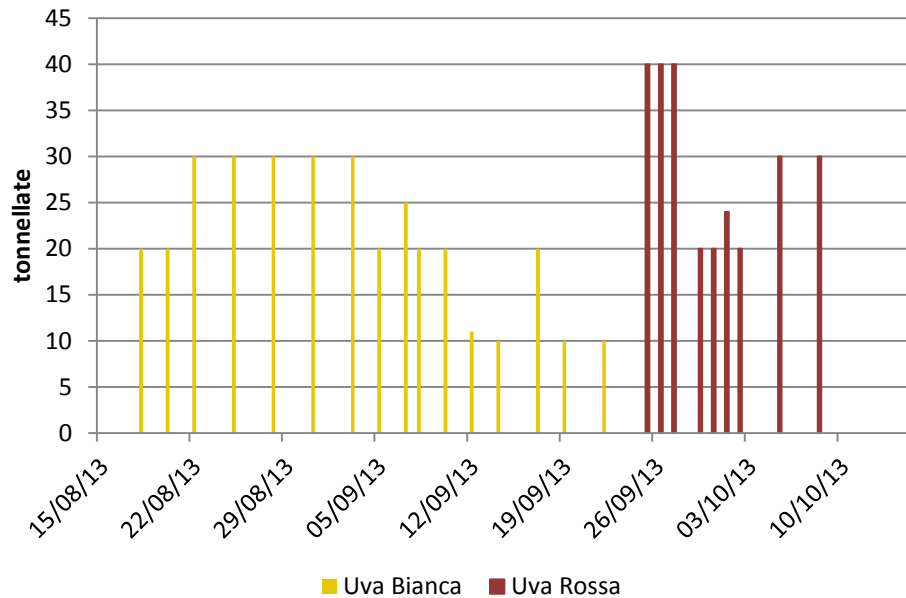


Figura 54 Conferimento uve con vendemmia meccanica

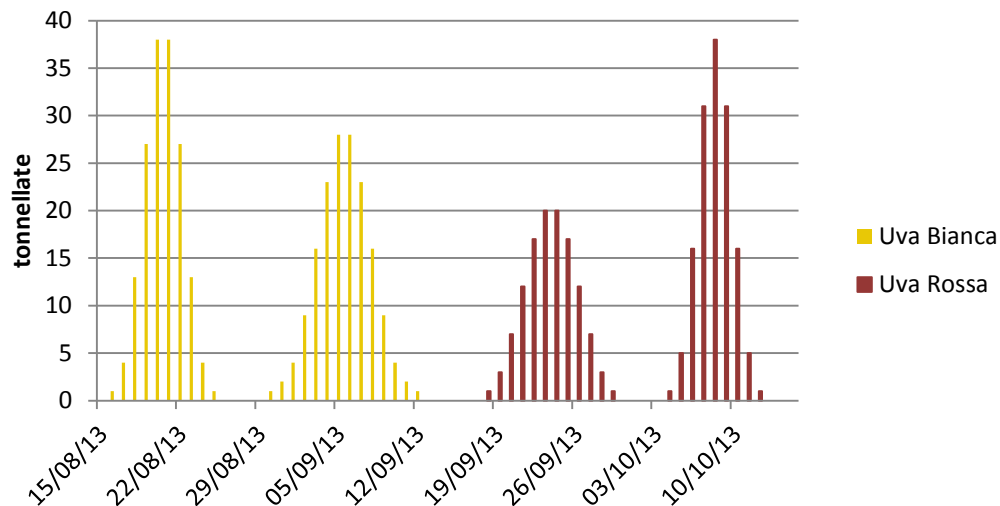


Figura 55 Conferimento uve con vendemmia manuale

Nel foglio di calcolo descritto nel Paragrafo 3.4 è possibile inserire due capacità del vaso tipo, una per il bianco e uno per il rosso. Variando questo input è possibile valutare le conseguenze di questa scelta in termini volumetrici.

Una prima valutazione sul numero complessivo di vasi di cui dotare la cantina, sarà ottenuto dividendo quindi le produzioni annue delle singole cultivar per la capacità tipo (150 hl).

**Tabella 4 Varietà di vitigni coltivati nell'ipotesi progettuale**

Cultivar	Quantità [l]	Capacità [l]	Vasi
Chardonnay	130.000	15.000	9
Albana	130.000	15.000	9
Sangiovese	95.000	15.000	7
Cabernet Sauvignon	115.000	15.000	8
Totale			33

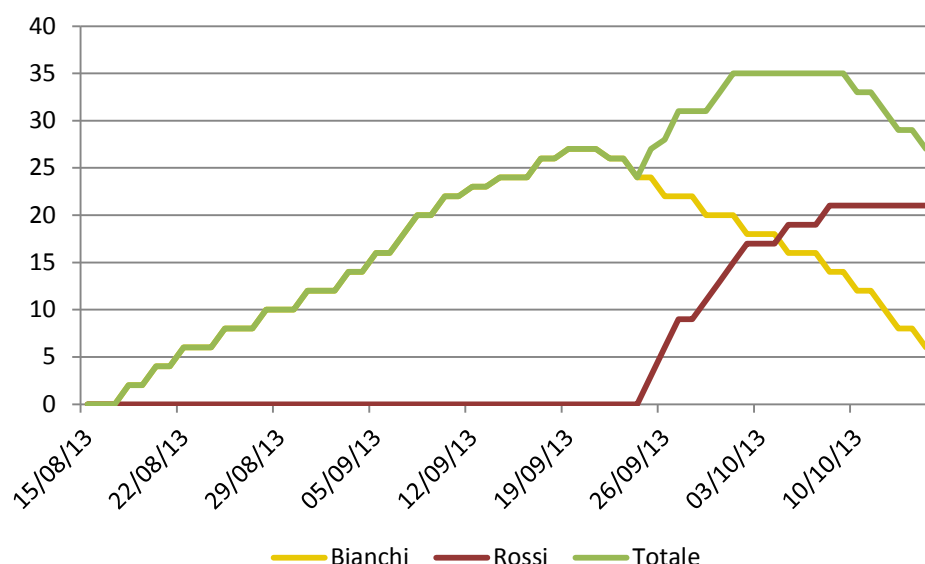
La quarta scheda del foglio di calcolo elabora, per ogni giorno di vendemmia, il numero di vasi vinari effettivamente in uso, facendo un bilancio fra i vasi pieni da riempire e svuotati, in modo da valutare eventuali possibili usi multipli dei vasi svuotati e puliti. Il calcolo avviene considerando il quantitativo di mosto lavorato ogni giorno (valore che deriva dalle uve conferite e dalla resa delle uve). Il lasso di tempo in cui un singolo vaso è occupato, viene calcolato in base alla durata della fermentazione, valore, quest'ultimo, calcolato con la Equazione 3

$$t = 56 \cdot \exp(-0.07 \cdot T)$$

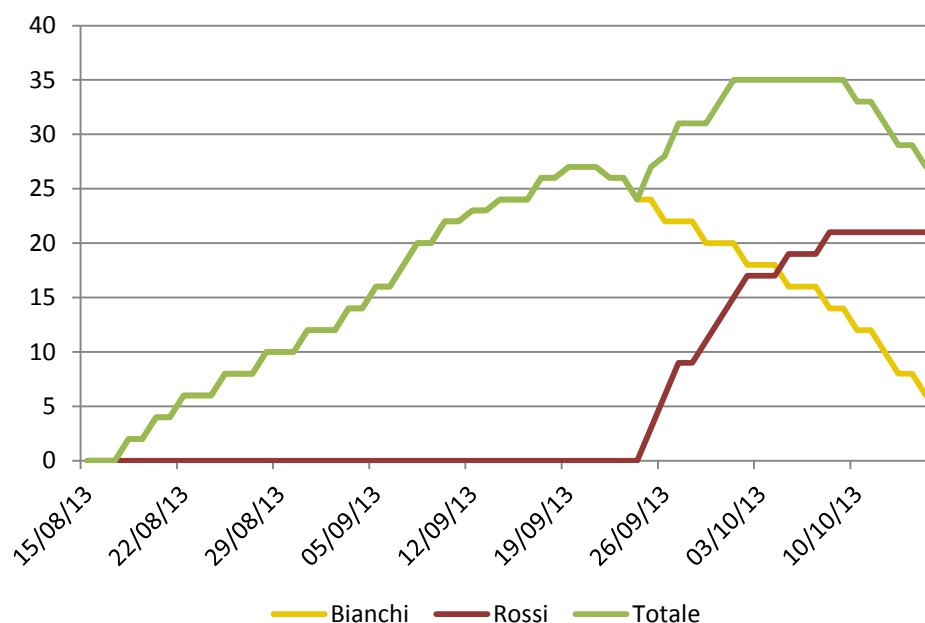
**Equazione 3 Calcolo del tempo di fermentazione**

Dove  $t$  è il tempo necessario alla fermentazione espresso in giorni e  $T$  la temperatura di fermentazione espressa in °C.

Il foglio mostra che il numero massimo di fermentini utilizzati contemporaneamente è 35, di cui 21 per la vinificazione in rosso (vedi Figura 56)



**Figura 56** Numero dei fermentini utilizzati durante il periodo di vendemmia



**Figura 57** Conferimento uve con vendemmia manuale

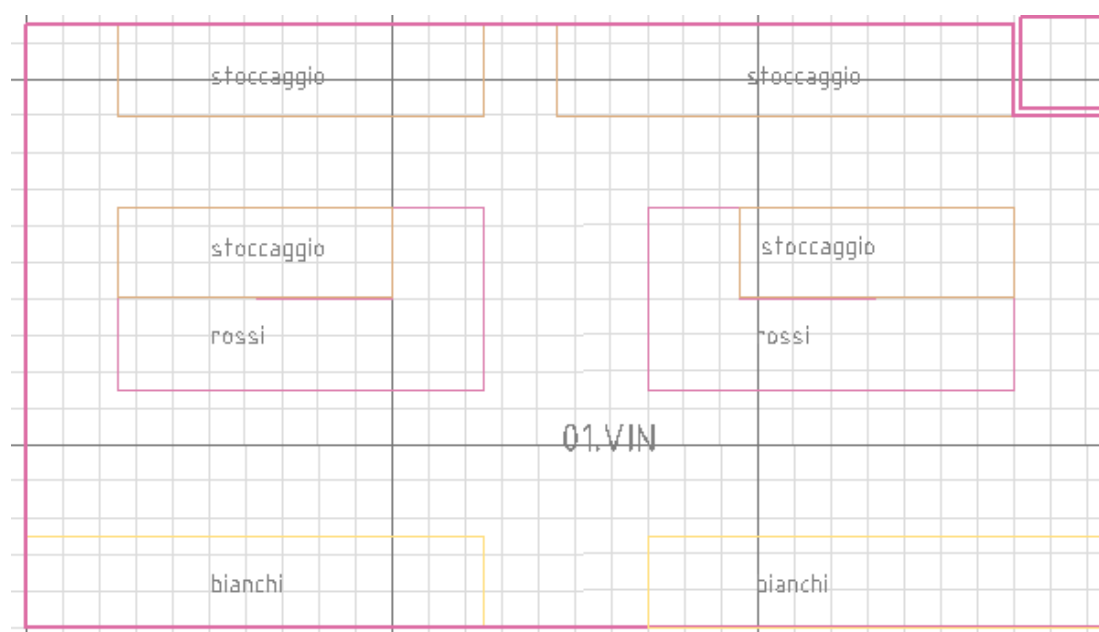
Il confronto fra la Tabella 4 e questo calcolo suggerisce che la cantina sia dotata di 21 fermentini per la produzione del rosso e 14 per il bianco i quali dovranno svolgere anche la funzione di stoccaggio una volta concluso il periodo della fermentazione. Questa soluzione può portare ad un costo elevato dovendo dotare di climatizzazione tutti i fermentini presenti in azienda. Ulteriori valutazioni, formulate sulla base di considerazioni di carattere enologico, potrebbero ridurre la necessità dei fermentini climatizzati, infatti il raffreddamento del mosto è richiesto per un periodo limitato della fermentazione, trascorso il quale, il mosto potrebbe essere collocato in vasi non climatizzati senza interrompere la fermentazione e senza che vi sia la necessità di raffreddare il liquido. Queste valutazioni non vengono effettuate in questo studio in quanto le dirette conseguenze

non modificherebbero ne' lo spazio ne' l'energia di raffrescamento richiesti dall'attività di fermentazione.

Come detto in precedenza una parte della produzione (10%-20% del vino rosso) viene invecchiata in barrique, quindi il quantitativo definitivo di vino da stoccare dovrebbe essere inferiore a quelli contenuto nei 35 vasi. Si decide comunque di non considerare un numero di vasi inferiore ai 35 ottenuto dal calcolo, in quanto potrebbero coprire un'eventuale sovrapproduzione o conservare una parte di vino, prodotto con la vendemmia dell'anno precedente, destinato alla vendita anche durante il periodo della vinificazione.

Per completare questa parte, è necessario definire le dimensioni esterne del vaso. Il vaso (in vetroresina o in acciaio se climatizzato, altre soluzioni materiche possono essere il cemento o il legno) è solitamente di forma cilindrica con diametro massimo di 2-2.5 metri e altezza massima di 10 per consentirne il trasporto in condizioni ordinarie. In questo studio si è optato per un vaso di 2 metri di diametro e 5 metri di altezza. L'altezza complessiva, considerando la struttura di appoggio a terra è di circa 6 metri, l'ingombro complessivo del vaso è stato considerato come un parallelepipedo di 2x2x8 (considerando uno spazio in sommità che garantisca piena manovrabilità all'operatore).

Sulla base di questo ingombro esteso ai 35 vasi e dei relativi spazi per manovre e flussi, si è ipotizzata sala di vinificazione con dimensioni interne nette di circa 30 m x 16 m x 8m come mostrato in Figura 58.



**Figura 58 Schema ingombro vasi vinari (dimensione scacchi 1m x 1m)**

02.BAR – Il volume atto ad ospitare la barricaia è stato dimensionato a partire dalla dimensione e dal numero di barrique contenute al suo interno. Supponendo che la parte destinata all'invecchiamento sia il 20% della produzione dei vini rossi, risulta che la quantità di prodotto da stoccare sia di circa 45.000 l annui corrispondenti a 200 barrique da 225 litri. Ogni barrique occupa un volume di circa 0,80 m x 1,40 m x 0,80 m compreso lo spazio di manovra, pertanto il volume minimo per la barricaia dovrà essere di circa  $180\text{m}^3$  a cui va aggiunto il volume relativo all'unità funzionale della degustazione, valutato in circa altri  $150\text{-}180\text{m}^3$  per un totale di circa  $350\text{m}^3$ .

03.IMB – Si ricorda che l'azienda imbottiglia circa il 40% del vino prodotto, corrispondente a 2000hl ovvero circa 270.000 bottiglie. Considerando le diverse tempistiche della produzione, una linea di imbottigliamento da 1000 bottiglie l'ora, esaurirebbe il lavoro relativo ad un anno in un tempo di circa 1 mese e mezzo, tempistica compatibile con i piani aziendali. Per motivi operativi si opta per due linee da 500 bottiglie l'ora. L'ingombro del singolo macchinario è di circa  $4.00 \times 2.50 \times 2.00\text{m}$ . Lo spazio necessario è quindi decisamente ridotto, ma volendo che il locale sia anche un primo magazzino lo si è dimensionato il locale di circa  $80\text{m}^2$ .

04.SPU – Le dimensioni per gli spumantizzatori sono varie, per questo progetto si è mantenuta una dimensione simile al locale per l'imbottigliamento ipotizzando una botte per l'autoclave disposta orizzontalmente.

05.UFF – Gli uffici e la prima commercializzazione, dovendo contenere diverse attività oltre ai servizi igienici per gli ospiti, necessitano di una superficie difficilmente quantificabile. A tale proposito si sono presi a riferimento i dati raccolti durante il periodo di analisi e gli spazi minimi da normativa. Ne è risultata un'area di circa  $65\text{m}^2$ .

06.LAB – Le attività svolte in questo locale pur essendo numerose non richiedono molto spazio, basandosi sui minimi di normativa per spogliatoi e servizi igienici e considerando due postazioni per il laboratorio, si è ipotizzato uno spazio di circa  $25\text{m}^2$ .

07.TEC – Il deposito additivi è stato valutato occupante un'area di circa  $5\text{m}^2$ ,  $15\text{m}^2$  saranno occupati dagli impianti tecnici e infine  $30\text{m}^2$  dovranno servire per garantire servizi igienici, spogliatoi e docce. La superficie complessiva occupata in pianta da questo locale sarà quindi di circa  $50\text{m}^2$ .

08.VER – Il vano riservato ai collegamenti verticali deve poter ospitare scale e ascensori per tutta l'altezza dell'edificio. Dovendo consentire il flusso di persone procedenti in sensi opposti, le scale avranno larghezza minima di 1,20 metri con pianerottoli ogni 15 alzate (valore massimo). L'ascensore e le relative aree antistanti le aperture dovranno consentire il trasporto e le manovre di

persone dotate di scarsa mobilità e di piccole attrezzature fungendo anche da montacarichi. Sviluppando in pianta queste specifiche si ottiene un'area complessiva di circa 20m<sup>2</sup>.

### **3.6. Definizione dei criteri per la valutazione energetica dell'edificio e varianti costruttive**

Il metodo esposto in questa ricerca è volto ad una progettazione integrata delle cantine che porti all'efficienza energetica delle stesse. Per compiere queste valutazioni è necessario procedere con una simulazione energetica dell'edificio, la quale nel nostro caso, si basa sull'intero anno solare. La simulazione energetica effettuata con EnergyPlus restituisce, fra gli altri risultati, le temperature all'interno dei locali e i carichi energetici necessari al mantenimento delle temperature fissate nei locali climatizzati. Questi dati, una volta elaborati dal foglio di calcolo, restituiscono degli indicatori utili alla valutazione della prestazione energetica dell'edificio.

#### **3.6.1. Locali climatizzati**

La maggior parte delle scelte progettuali sin ora descritte contribuisce in diversa misura ai consumi energetici. La prima conseguenza diretta è quindi la ricaduta che le scelte progettuali e aziendali hanno sui consumi energetici prevalentemente legati alla climatizzazione. Si è consapevoli che l'azienda ha a bilancio altri consumi energetici considerevoli che derivano dalle fasi di pressatura, pigiatura, diraspatura, imbottigliamento ecc., ma questi consumi sono legati alla macchine che le eseguono e sono indipendenti dalle scelte progettuali relative all'edificio. Pertanto questo studio si limita ad analizzare i consumi derivanti dalla climatizzazione degli ambienti e dei vasi vinari (quest'ultima dovuta al raffrescamento delle uve dalla temperatura di campo a quella di fermentazione e al raffrescamento per la fermentazione). Il primo criterio sarà quindi la valutazione dei locali climatizzati e dell'energia che questi necessitano per la climatizzazione, valutata come quantità di calore da fornire o da asportare per mantenere l'intervallo di temperature prefissato durante l'anno. Per poter conoscere l'esatto quantitativo di energia in termini, ad esempio, di energia elettrica richiesta dalla rete, sarebbe necessario ipotizzare un impianto termico. Questa fase non è presa in considerazione in questo studio in quanto il rendimento dell'impianto influenza il quantitativo di energia richiesto ed è una variabile indipendente dalle scelte progettuali indagate in questo studio.

Nonostante volumi e superfici dei diversi locali siano stati definiti in fase di dimensionamento, necessità legate alla fase di progettazione impongono modifiche agli spazi che si ripercuotono su volumi e superfici, pertanto le diverse varianti indagate in questo studio possono presentare, per gli stessi spazi, volumi, anche se di poco, differenti tra loro. Per questa ragione i valori energetici saranno riferiti all'unità di volume, procedendo con la logica data dalla normativa energetica. Il valore ottenuto non può essere considerato equivalente all'EP (descritto nel Paragrafo 2.2.3) in

quanto quest'ultimo tiene conto anche dell'impianto installato e del suo rendimento (che come si è detto non sono stati presi in considerazione). Nonostante questa precisazione non consenta un confronto diretto dei risultati con le classi energetiche stabilite da normativa, sarà comunque interessante prendere a riferimento i valori limite delle classi energetiche per una prima valutazione dei risultati. Ovviamente minori saranno i valori energetici richiesti migliore sarà la prestazione energetica.

Altri valori che saranno utili alla valutazione della prestazione dell'edificio saranno quelli relativi alla potenza massima richiesta e ai consumi complessivi annuali.

### **3.6.2. Locali non climatizzati**

Valutare la progettazione tenendo conto dei soli consumi energetici può essere un risultato parziale. Alla luce dei dati sopra riportati, risulta che il volume climatizzato è circa il 20% del totale, inoltre la maggior parte del vino è conservato in due locali non climatizzati ovvero la sala di vinificazione (01.VIN) e il locale di imbottigliamento e primo magazzino (03.IMB). Pertanto un buon indicatore dell'efficienza energetica dell'edificio può essere rappresentato da la tendenza che hanno i suddetti locali a mantenere nel tempo le condizioni termiche più prossime a quelle ideali per la conservazione del vino (che possiamo definire condizioni per il benessere termico o “comfort” del vino). In queste stanze il vino è conservato all'interno di vasi in acciaio o in bottiglie quindi i valori igrometrici non influiscono sul tasso di evaporazione del prodotto e quindi sulla conservazione.

Indipendentemente dalle variabili considerate, gli indicatori per il benessere termico del vino possono non avere un valore assoluto di riferimento come soglia univoca (contrariamente a quanto avviene nella valutazione energetica che può essere valutata in termini di kilowattora) in quanto, oltre a non esserci uniformità in letteratura su quali siano le condizioni ideali, esse possono variare in seguito a considerazioni di carattere enologico dipendenti dalle cultivar, dalla linea di produzione dell'azienda e da altri fattori. I numerosi studi riportati in questo lavoro hanno individuato temperature medie e intervalli di temperatura idonei alla conservazione. Per questa ragione, nel foglio di calcolo, è possibile inserire un valore di temperatura ( $T_v$ ) che rappresenti la temperatura media ideale per la conservazione del vino. Questo valore, insieme ad un valore di tolleranza ( $\Delta T$ ) inseribile anche questo nel foglio di calcolo, determinano un intervallo ( $T_v \pm \Delta T$ ) che rappresenta l'intervallo di temperatura ideale in cui mantenere il vino.

#### **1) Discomfort**

Il primo indicatore, quindi, per valutare i locali non climatizzati in base alla loro propensione ad ospitare il vino, prende in considerazione dal tempo (in ore) in cui la temperatura all'interno del locale è al di fuori dell'intervallo di benessere. Il valore rappresenta il “discomfort” termico



generato dai locali ed è dato dal rapporto, espresso in percentuale, tra le ore in cui la temperatura non è compresa all'interno dell'intervallo e il numero totale delle ore nell'arco dell'anno.

Successivamente, per ogni ora di simulazione in cui la temperatura ambientale simulata non rientra nell'intervallo di comfort, si calcola la differenza fra la temperatura stessa e l'estremo dell'intervallo di comfort ad essa più prossimo (vedi Equazione 4 e Equazione 5).

$$T_{e,i} = |T_i - (T_v + \Delta T)| \text{ se } T_i > T_v + \Delta T$$

#### Equazione 4

$$T_{d,i} = |T_i - (T_v - \Delta T)| \text{ se } T_i < T_v - \Delta T$$

#### Equazione 5

Dove  $T_{e,i}$  è la differenza in eccesso all'*i-esimo* step temporale, essa quantifica in gradi Celsius di quanto le temperature simulate sono superiori al limite estremo di comfort e  $T_{d,i}$  è la differenza in difetto all'*i-esimo* step temporale, ovvero la quantificazione in gradi Celsius di quanto le temperature simulate sono inferiori al limite estremo di comfort.  $T_i$  è la temperatura all'interno del locale ottenuta dalla simulazione allo step  $i$ .  $T_v$  rappresenta la temperatura ideale di conservazione del vino,  $\pm \Delta T$  la massima oscillazione termica annua ammissibile.  $i$  rappresenta gli step della simulazione, ovvero le 8760 ore che formano un anno.

Questo calcolo viene ripetuto per l'intero anno e per tutte le differenze ottenute vengono sommate separatamente per i valori positivi ( $\Sigma T_e$ ) e negativi ( $\Sigma T_d$ ). Queste sommatorie rappresentano i gradi-ora in eccesso e in difetto del locale considerato calcolati su un anno. Questi due valori possono dare un'indicazione quantitativa dell'attitudine del locale ad ospitare i contenitori per il vino.

## 2) Stabilità termica

Molti autori, oltre a dare specifiche su temperature ed intervalli accettabili, indicano anche prescrizioni relative alla stabilità termica ritendendola condizione di paritaria importanza al valore della temperatura media.

La stabilità termica offerta dal locale può essere valutata su scala annuale analizzando il numero di picchi  $n_p$  di temperatura raggiunti (massimi e minimi) e il gradiente medio di temperatura  $\Delta T_m$ . Chiaramente un minore numero di picchi e un minore gradiente di temperatura, indicano una migliore stabilità termica del locale.

Per avere un termine di paragone, si è pensato di effettuare le stesse analisi con la temperatura esterna monitorata nel sito oggetto di intervento. Gli indicatori ottenuti analizzando la temperatura esterna equivalgono a quelli di un'ipotetica stanza in equilibrio termico con l'esterno. Il confronto

quindi fra gli indicatori ottenuti con i dati dei locali e quelli esterni, indica di quanto il locale migliora le condizioni termiche rispetto a quelle esterne per renderle più prossime a quelle ideali per la conservazione del vino.

### 3.6.3. Definizione del benessere termico del vino

Come evidenziato nel Paragrafo 2.1.4, nonostante in letteratura non esista uniformità nel definire una temperatura ideale per la conservazione o invecchiamento del vino, gli studi esaminati propongono differenti temperature di conservazione al di sotto dei 20°C, da questo si può dedurre che le temperature sopra i 20°C sono sconsigliate e che sotto i 20°C la temperatura influenza sì la conservazione in maniera percepibile dal consumatore, ma senza alterare la qualità del prodotto. Quindi, per temperature inferiori ai 20°C, uno dei criteri di valutazione per la temperatura ideale di conservazione può dipendere dalla sensibilità (gusto) del consumatore, la quale può essere conseguenza dell'abitudine del consumatore consolidata nel tempo, ad assaporare un vino conservato ad una temperatura specifica secondo metodi tradizionali. Essendo il vino storicamente conservato in locali interrati, è facile supporre che questa temperatura specifica sia prossima alla temperatura media annua del terreno.

#### Equazione 6

$$T_g(d, t) = T_m - A_s \cdot \exp \left[ -d \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}} \right] \cdot \cos \left[ \frac{2\pi}{365} \cdot \left( t - t_0 - \frac{d}{2} \cdot \sqrt{\frac{365}{\pi \cdot \alpha}} \right) \right]$$

L'Equazione 6 (Kusuda and Achenbach 1965) mostra che la temperatura media annua del terreno al tempo  $t$  e alla profondità  $d$   $T_g(d, t)$  equivale alla temperatura media dell'ambiente esterno  $T_m$ , con effetti di smorzamento che dipendono da  $A_s$  (oscillazione termica annua dell'aria),  $t_0$  (giorno dell'anno in cui si ha la temperatura media minima,  $\alpha$  (diffusività termica del suolo) aumentano con la profondità  $d$ . Si può quindi prendere a riferimento per questo studio, come temperatura ideale di conservazione del vino  $T_v$ , la temperatura media esterna annua (che equivale alla temperatura media annua del terreno) arrotondata all'unità. Questa temperatura calcolata in base ai dati forniti dalla centralina meteo è di 14,5°C, quindi  $T_v=15^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T$  è stato preso  $\pm 3^\circ\text{C}$  in accordo con gli studi di Vogt (1971).  $T_v \pm \Delta T$  sarà l'intervallo che definisce la zona di comfort termico del vino e definisce i valori per il termostato della barricaia (02.BAR) nel progetto.

### 3.6.4. Scelta delle soluzioni progettuali da valutare

Si ricorda che si è optato per un edificio a due piani in cui i locali sono distribuiti su due livelli, ad eccezione del locale di vinificazione e dei collegamenti verticali che occupano entrambi i livelli

dell'edificio. Le possibili alternative progettuali da inserire in un progetto così ampio per le variabili in gioco, sono innumerevoli. In questo studio si è deciso di valutare due possibili variabili e le loro possibili combinazioni ottenendo quattro soluzioni progettuali.

### **Prima variabile**

La prima variante riguarda la collocazione altimetrica dell'edificio desunta dalla modalità di lavorazione delle uve. Le indagini effettuate nelle aziende campione mostrano che nelle zone di pianura le uve, dal conferimento alla fermentazione, vengono lavorate su uno stesso piano e i prodotti delle singole lavorazioni sono movimentati tramite pompe. Questa soluzione è compatibile con un edificio a due piani fuori terra in cui tutte le lavorazioni avvengono al piano terra. Cantine collocate in zone collinare mostrano, in alcuni casi, una modalità differente nella lavorazione delle uve. Infatti, sfruttando le pendenze del sito, esse possono effettuare una prima lavorazione per gravità, dove il prodotto prima di essere convogliato nei tini è movimentato per caduta. Ipotizzando il conferimento delle uve al livello del piano di campagna, per poter attuare questa soluzione nel presente lavoro, è necessario prevedere un interramento dell'edificio. Studiando l'edificio in sezione si può ipotizzare un interramento parziale dello stesso, infatti l'interramento all'altezza del solaio divisorio tra i due livelli dell'edificio consente la prima lavorazione per gravità relegando alle pompe la sola fase di riempimento dei vasi. Questa soluzione inoltre permette anche la riproposizione della tradizionale modalità di invecchiamento del vino in locali interrati. Da un punto di vista termico è molto interessante poter valutare l'effetto dell'interramento nel bilancio energetico dell'azienda.

Si avranno quindi due soluzioni, una in cui l'edificio è totalmente fuori terra (Above Ground denominata AGR) e una in cui l'edificio è parzialmente interrato (Partially UnderGround denominata PUG). Sono state quindi svolte le opportune valutazioni preliminari inerenti il confronto di questa nuova struttura con l'architettura rurale tradizionale, in quanto si ritiene fondamentale il dialogo tra la nuova architettura e quella esistente. Nel presente lavoro si riporta solo un breve cenno a tali valutazioni, che si riferiscono a tematiche di ricerca aggiuntive rispetto al tema specifico dello studio e sono quindi oggetto di trattazione estesa in ulteriori pubblicazioni. Seguendo i criteri enunciati nello studio di Torreggiani et al. (2011), risulta che i caratteri formali parametrizzati della soluzione AGR rispettano i rapporti tipici della tradizione edilizia rurale al contrario della soluzione PUG. Pertanto per la soluzione AGR si è cercato di mantenere i caratteri architettonici tipici della tradizione rurale, formulando una riproposizione fisiognomica in termini di connotati volumetrici e formali, mentre per la soluzione PUG sono state prese a riferimento forme contemporanee e più precisamente quelle che hanno portato alla progettazione della cantina dell'Università di Davis (vedi Paragrafo 2.3.2).

## Seconda variabile

La normativa energetica nazionale e quella regionale impongono limiti di trasmittanza termica all'involucro degli edifici solo per i locali in cui è obbligatorio prevedere il riscaldamento. La progettazione proposta prevede la climatizzazione anche in locali per cui la norma non impone riscaldamento (barricaia 02.BAR); inoltre nel presente studio si intende effettuare la valutazione della stabilità termica anche in locali in cui non è prevista la climatizzazione (01.VIN e 03.IMB), in considerazione dell'importanza di tale requisito per la produzione vinicola. Le due varianti analizzate avranno quindi un involucro che presenta valori di trasmittanza delle superfici che rispettano il minimo di normativa (min) in cui quindi solo i locali dotati di climatizzazione avranno valori di trasmittanza delle pareti imposti dalla legge e un involucro in cui tutti le superfici esterne ed interne siano composte da pacchetti murari rispondenti alla normativa vigente per locali riscaldati (nor).

Pertanto le soluzioni indagate in questo studio sono 4, generate dalla combinazione delle 2 variabili. Ovviamente esistono altre innumerevoli soluzioni possibili che non sono state prese in considerazione. Il metodo esposto in questo studio è ideato per valutare una soluzione proposta da un punto di vista termico ed energetico, non è finalizzato alla individuazione di un'ipotetica migliore soluzione. Il metodo fornisce infatti degli indicatori, la cui valutazione spetta alle professionalità coinvolte nel progetto. In questo studio si valutano:

- 1) seminterrato con le sole pareti dei locali riscaldati con trasmittanze imposte dalla normativa (PUG.min)
- 2) seminterrato con tutte le pareti con trasmittanze imposte dalla normativa (PUG.nor)
- 3) fuori terra con le sole pareti dei locali riscaldati con trasmittanze imposte dalla normativa (AGR.min)
- 4) fuori terra con tutte le pareti con trasmittanze imposte dalla normativa (AGR.nor)

Per ognuno di questi progetti verrà fatta una simulazione energetica e verranno calcolati gli indicatori e successivamente confrontati.

	Isolamento termico parziale	Isolamento termico totale
Interrato	PUG.min	PUG.nor
Fuori terra	AGR.min	AGR.nor

Modificare l'isolamento termico in un edificio non comporta variazioni architettoniche e volumetriche sensibili, variazioni che invece si riscontrano nella progettazione di un edificio

totalmente fuoriterza piuttosto che parzialmente interrato. Durante la progettazione delle soluzioni, si è cercato di mantenere simile, per quanto possibile, l'ingombro complessivo della costruzione. Le soluzioni sono rappresentate negli elaborati riportati nell'Allegato B.

## Superfici e Volumi

### PUG

Tabella 5 Superfici e volumi delle soluzioni PUG

Locale	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]
01 VIN	522.97	5496.58
02.BAR	156.00	936.00
03.IMB	110.64	533.14
04.SPU	60.76	364.56
05.UFF	72.00	258.74
06.LAB	30.38	182.28
07.TEC	63.00	378.00
08.VER	24.64	247.00
Totale	1040.39	8396.30

### AGR

Tabella 6 Superfici e volumi della soluzione AGR

Locale	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]
01.VIN	526.19	5032.01
02.BAR	159.00	715.50
03.IMB	75.00	337.50
04.SPU	72.00	318.87
05.UFF	75.00	322.81
06.LAB	26.25	125.62
07.TEC	60.00	270.00
08.VER	37.56	283.29
Totale	1031.00	7405.60

### **3.7. Modellazione Energetica**

#### **3.7.1. Creazione del file meteo**

Il file meteo è fondamentale per la simulazione termica. Esso contiene diverse grandezze fisiche riportate per un anno solare con frequenza oraria (vedi Paragrafo 3.3.3). Per le simulazioni di questo studio sarebbe necessario ottenere dei dati che rappresentino l'anno meteorologico tipico reperibili nel formato TMY (Typical Meteorological Year). Il file che riporta i dati raccolti nella stazione WMO più vicina al sito oggetto di studio, è quello relativo all'aeroporto di Bologna a Borgo Panigale.

Per questo studio si è potuto però disporre dei dati raccolti durante il monitoraggio effettuato (vedi Paragrafo 3.2.3). Una centralina meteo del tipo PCE-FWS20, collocata a circa 100 metri della barriera, ha registrato temperatura, umidità pressione atmosferica esterne, velocità e direzione del vento con frequenza di 30 minuti dal giugno 2012. Le medie orarie di tutti i dati raccolti nell'anno solare 2013, sono state integrate con i dati provenienti dalla stazione meteo WMO sopra menzionata (file meteo ITA\_Bologna-Borgo.Panigale.161400\_IGDG.epw con centralina situata a 32km a NNE del caso studio) e con essi si è creato il file meteo necessario ad Energy Plus per eseguire le simulazioni.

#### **3.7.2. Suddivisione dell'edificio in Zone Termiche**

Per questa fase ci si è avvalsi del software OpenStudio 1.0 il quale, grazie al plug-in per Trimble SketchUp e all'interfaccia grafica, semplifica le operazioni di modellazione.

Ricordando che la Zona Termica per EnergyPlus è una porzione di spazio composta dall'aria contenuta al suo interno (supposta a temperatura uniforme) e dalle superfici che lo delimitano (anch'esse supposte a temperatura uniforme), la modellazione ha dapprima cercato di individuare una suddivisione dell'edificio in Zone Termiche. Si è valutato che la suddivisione dei volumi come esposta nel Paragrafo 3.5.1, sia in prima approssimazione una suddivisione accettabile ad eccezione del volume 01.VIN, il quale, vista l'altezza considerevole, potrebbe al suo interno presentare strati di temperatura e quindi zone differenti. Pertanto è stato suddiviso in due Zone Termiche sovrapposte, separate da un ipotetico "solaio di aria", ovvero un solaio privo di spessore e di caratteristiche termiche.

Riassumendo, gli 8 volumi sono stati modellati in 9 Spazi a cui sono assegnati gli eventuali carichi termici e gli eventuali termostati corredati dalle relative programmazioni orarie, ad ognuno degli Spazi è stata assegnata una Zona Termica.

### 3.7.3. Definizione dei carichi termici presenti nelle attività ospitate nella cantina

Ad ogni spazio è stato assegnato un valore relativo le infiltrazioni d'aria calcolate in base alle norme UNI/TS 11300. Ad incidere sull'andamento termico dei locali, oltre ad impianti termici ed apporti solari, un locale può ospitare altre sorgenti di calore. In questo studio se ne sono considerate di tre tipi:

- People – calore generato dalle persone presenti nel locale;
- Lighting – calore generato dalle sorgenti luminose;
- Electric – calore generato dalla apparecchiature elettriche.

Prendendo a riferimento le indagini effettuate, si è analizzata per ogni volume la presenza di queste tre sorgenti, se ne è valutata la potenza emessa e si sono redatti i relativi orari di presenza o di funzionamento. Tutti questi dati sono stati inseriti nell'applicazione OpenStudio ed elaborati come oggetti di EnergyPlus. La Tabella 7 riassume lo studio relativo ai carichi termici. Per brevità sono omessi i singoli valori calcolati.

Tabella 7

Spazio	Impianto termico	People	Lighting	Electric
01.VINa	NO	NO	SI	NO
01.VINb	NO	SI	SI	SI
02.BAR	SI	SI	SI	NO
03.IMB	NO	SI	SI	SI
04.SPU	NO	SI	SI	SI
05.UFF	SI	SI	SI	SI
06.LAB	SI	SI	SI	SI
07.TEC	NO	SI	NO	NO
08.VER	NO	NO	SI	NO

### 3.7.4. Definizione dei materiali da costruzione e dei pacchetti murari utilizzati

La normativa regionale prevede che i locali riscaldati abbiano valori di trasmittanza non inferiori a dei valori di riferimento per le pareti a contatti con l'esterno, con ambienti non riscaldati (paragonati all'ambiente esterno) e con ambienti riscaldati indipendenti. Questi valori sono stati suddivisi per pareti, soffitti e pavimento e riportati nella seguente Tabella 8 che riporta i valori minimi delle trasmittanze  $[W/(m^2K)]$  suddivisi in base alla zona geografica (Emilia Romagna zona E).

Tabella 8 Valori minimi di trasmittanze delle pareti secondo la normativa nazionale

Valori limite	A	B	C	D	E	F
Strutture opache verticali	0.62	0.48	0.40	0.36	0.33	0.33
Coperture	0.38	0.38	0.38	0.32	0.30	0.29
Pavimenti	0.65	0.49	0.42	0.36	0.33	0.32
Divisione locali riscaldati	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80



Per ogni tipo di chiusura, sono stati creati pertanto due tipi di pacchetto, uno con trasmittanza termica rispondente alla normativa e un altro utilizzando soluzioni di mercato comuni nell'edilizia industriale.

## Pareti opache verticali

### Esterne

#### Locali non riscaldati

0 MURO E01		Pannello prefabbricato			
Descrizione materiale	D (kg/m <sup>3</sup> )	λ (mK/W)	s (cm)	r (m <sup>2</sup> K/W)	
Aria ambiente					
Strato liminare interno					0.130
CLS	2400	2.300	850	5.0	0.022
CLS alleggerito	1100	0.450	1100	10.0	0.222
fonte: <a href="http://macevi.it/download/Ktermico.pdf">http://macevi.it/download/Ktermico.pdf</a>					
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	230		15.0		0.414
	Trasmittanza W/(m <sup>2</sup> K)				2.42

#### Locali riscaldati

0 MURO E12		Pannello prefabbricato - min Zona E			
Descrizione materiale	D (kg/m <sup>3</sup> )	λ (mK/W)	s (cm)	r (m <sup>2</sup> K/W)	
Aria ambiente					
Strato liminare interno					0.130
CLS	2400	2.300	850	5.0	0.022
Polistirene estruso	35	0.035	900	10.0	2.857
CLS	2400	2.300	850	5.0	0.022
fonte: <a href="http://macevi.it/download/Ktermico.pdf">http://macevi.it/download/Ktermico.pdf</a>					
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	243.5		20.0		3.071
	Trasmittanza W/(m <sup>2</sup> K)				0.33

## Interne

### Locali non riscaldati

0 MURO I01		Parete divisoria interna			
Descrizione materiale	D (kg/m3)	$\lambda$ (mK/W)	s (cm)	r (m2K/W)	
Aria ambiente					
Strato liminare interno					0.130
Intonaco di calce e gesso	1400	0.700	900	1.5	0.021
Matt. Forato	1100	0.360	830	15.0	0.417
Intonaco di calce e gesso	1400	0.700	900	1.5	0.021
Strato liminare interno					0.130
TOTALE:	207			18	0.720
	Trasmittanza W/(m2K)				1.39

### Locali riscaldati

0 MURO I11 U80		Parete divisoria tra unità immobiliari			
Descrizione materiale	D (kg/m3)	$\lambda$ (mK/W)	s (cm)	r (m2K/W)	
Aria ambiente					
Strato liminare interno					0.130
Intonaco di calce e gesso	1400	0.700	900	1.5	0.021
P.lli isolanti	400	0.100	1500	9.5	0.950
Intonaco di calce e gesso	1400	0.700	900	1.5	0.021
Strato liminare interno					0.130
TOTALE:	0			12.5	1.253
	Trasmittanza W/(m2K)				0.80

## Coperture

### Locali non riscaldati

0 TETTO E01		Lat-cem massetto			
Descrizione materiale	D (kg/m3)	$\lambda$ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m2K/W)
Aria ambiente					
Strato liminare interno					0.170
Intonaco di calce e gesso	1400	0.700	900	2.0	0.029
Solaio lat-cem	800	0.800	1000	25.0	0.313
Massetto alleggerito	2000	1.100	900	0.0	0.000
Polistirene estruso	35	0.035	900	0.0	0.000
Coppi	1800	0.700	830	4.0	0.057
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	300			31.0	0.608
	Trasmittanza teorica			W/(m2K)	1.64

## Locali riscaldati

0 TETTO E11		Lat-cem massetto + isolante			
Descrizione materiale	D (kg/m <sup>3</sup> )	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m <sup>2</sup> K/W)
Aria ambiente					
Strato liminare interno					0.170
Intonaco di calce e gesso	1400	0.700	900	2.0	0.029
Solaio lat-cem	800	0.800	1000	25.0	0.313
Massetto alleggerito	2000	1.100	900	0.0	0.000
Polistirene estruso	35	0.035	900	10.0	2.857
Coppi	1800	0.700	830	4.0	0.057
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	303.5			41.0	3.465
Trasmittanza teorica				W/(m <sup>2</sup> K)	0.29

## Pavimenti

### Locali non Riscaldati

0 PAVIMENTO E01		isolante + Lat-cem massetto			
Descrizione materiale	D (kg/m <sup>3</sup> )	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m <sup>2</sup> K/W)
Aria ambiente					
Strato liminare interno					0.170
CCA	2400	2.300	790	30.0	0.130
	1800	0.900	900	0.0	0.000
	2000	1.100	900	0.0	0.000
	800	0.800	1000	0.0	0.000
	35	0.035	900	0.0	0.000
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	720			30.0	0.340
Trasmittanza				W/(m <sup>2</sup> K)	2.94

## Locali riscaldati

0 SOLAIO I11		Lat-cem massetto + isolante			
Descrizione materiale	D (kg/m <sup>3</sup> )	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m <sup>2</sup> K/W)
Aria ambiente					
Strato liminare interno					0.170
Pav. Laterizio	1800	0.700	830	1.5	0.021
Malta di calce	1800	0.900	900	1.0	0.011
Massetto alleggerito	1500	1.100	900	10.0	0.091
Polistirene estruso	35	0.035	900	8.0	2.286
Solaio	800	0.800	1000	30.0	0.375
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	437.8			50.5	2.994
Trasmittanza				W/(m <sup>2</sup> K)	0.33

## Pareti controterra

Come detto, due delle quattro varianti presentano pareti a diretto contatto con il terreno. Per esse è stata effettuata una modellazione ad hoc. Le pareti controterra, ipotizzate come dei setti in c.c.a. di spessore di 30cm, sono state modellate seguendo il modello di Mazarrón, Cid-Falceto, and Cañas Guerrero (2012a) e validate dallo studio di Barbaresi et al. (2014) riportato nell'Allegato A.1. Per questa modellazione è necessario conoscere le principali caratteristiche del terreno: tipo di terreno,

densità e conducibilità termica. Essendo questi dati di facile reperibilità per l'area studio, la modellazione ha previsto:

- realizzazione di zone termiche fittizie attorno all'edificio interrato simulanti il terreno;
- accorpamento del setto in c.c.a. e del terreno in un unico pacchetto murario da associare alle pareti controterra.
- terreno ipotizzato come un materiale con capacità termica nulla e resistenza termica ( $m^2K/W$ ) pari a quella di uno strato di terreno di spessore pari alla larghezza della zona termica fittizia;
- modellazione del pavimento come una superficie con caratteristiche termiche equivalenti ad uno strato di terreno di 10m di spessore avente le stesse proprietà del terreno circostante.

### Locali climatizzati

Per completare la modellazione dei locali climatizzati è necessaria la definizione dei termostati e le relative programmazioni orarie. Come detto nel Paragrafo 3.5.1 i locali climatizzati sono 02.BAR, 05.UFF e 06.LAB.

Le condizioni termiche all'interno del primo locale devono essere impostate per mantenere un confort termico del vino, pertanto si riprendono le considerazioni fatte nel Paragrafo 3.6.3, da cui le temperature del termostato deriveranno da  $T_v \pm \Delta T$  ovvero, per il nostro studio,  $12^\circ C$  sarà la temperatura minima e  $18^\circ C$  la temperatura massima consentite all'interno della stanza. Il termostato sarà attivo tutto l'anno per 24 ore al giorno.

Gli altri due locali avranno un termostato impostato secondo le normative vigenti per la climatizzazione degli ambienti di lavoro (Regione Emilia Romagna 2000) e quindi si è ipotizzato che nei giorni lavorativi invernali dalle 8 alle 16 la temperatura minima sia  $20^\circ C$  mentre nei giorni lavorativi estivi dalle 8 alle 16 la temperatura dei locali non possa superare i  $26^\circ C$ . Durante il periodo della vendemmia (15 agosto – 15 ottobre) l'orario lavorativo è considerato dalle 8 alle 20 ed è esteso a i giorni festivi. L'impostazione dei termostati è riassunta nella Tabella 9, con T si indica la temperatura interna del locale:

**Tabella 9** Prospetto del settaggio dei termostati

Locale	Inverno		Estate	
	Orari lavorativi	Atri orari	Orari lavorativi	Atri orari
02.BAR	$12^\circ C < T < 18^\circ C$	$12^\circ C < T < 18^\circ C$	$12^\circ C < T < 18^\circ C$	$12^\circ C < T < 18^\circ C$
05.UFF	$T > 20^\circ C$	$T > 16^\circ C$	$T < 26^\circ C$	$T < 30^\circ C$
06.LAB	$T > 20^\circ C$	$T > 16^\circ C$	$T < 26^\circ C$	$T < 30^\circ C$

## 4. Risultati

In questo capitolo vengono illustrati i risultati elaborati dal foglio di calcolo. Come descritto nel Paragrafo 3.4, il foglio restituisce tre tipi di risultati (vedi Figura 52): il rilascio dell'anidride carbonica prodotta dal processo di fermentazione alcolica, i dati per la valutazione dell'idoneità dei locali non climatizzati a conservare il vino basata sul concetto di "Comfort/Discomfort" del prodotto (come definito al Paragrafo 3.6.3) e le potenze e i carichi termici necessari per la refrigerazione nel processo di vinificazione e per la climatizzazione degli ambienti.

Il rilascio dell'anidride carbonica è calcolato direttamente con i dati immessi nel foglio di calcolo senza l'ausilio di risultati provenienti da software esterni, così come il calcolo inerente i processi termici di raffreddamento delle uve e dei vasi vinari durante la fermentazione alcolica. Il calcolo riguardante l'idoneità dei locali non climatizzati necessita, come input, anche dei risultati derivanti dalle simulazioni termiche effettuate con EnergyPlus. Sempre dalle simulazioni derivano i dati relativi ai carichi termici e alle potenze per la climatizzazione dei locali. Le simulazioni energetiche hanno restituito infatti, con frequenza oraria, le temperature simulate nell'anno 2013 per tutte le zone termiche delle soluzioni progettuali e i carichi termici espressi in kWh per le zone termiche provviste di climatizzazione. Questi dati sono stati successivamente elaborati dal foglio di calcolo secondo quanto descritto nel Paragrafo 3.6.

### 4.1. Rilascio di anidride carbonica

Il primo risultato restituito dal foglio di calcolo riguarda il rilascio della CO<sub>2</sub> emessa durante il processo di fermentazione. Il foglio 8 elabora dei grafici che mostrano il rilascio del gas nel tempo in termini di massa e volume (in condizioni standard).

Questo risultato dipende da grado zuccherino, temperatura di fermentazione e quantità di uva conferita. Sebbene sia indipendente dalle scelte progettuali inerenti l'edificio e non influenzi potenza ed energia totale degli impianti, è importante per poter quantificare l'intero impatto ambientale del processo di vinificazione e quindi calcolare la CO<sub>2</sub> rilasciata, in particolare qualora si volesse prevedere l'installazione di un sistema adibito al recupero dell'anidride carbonica.

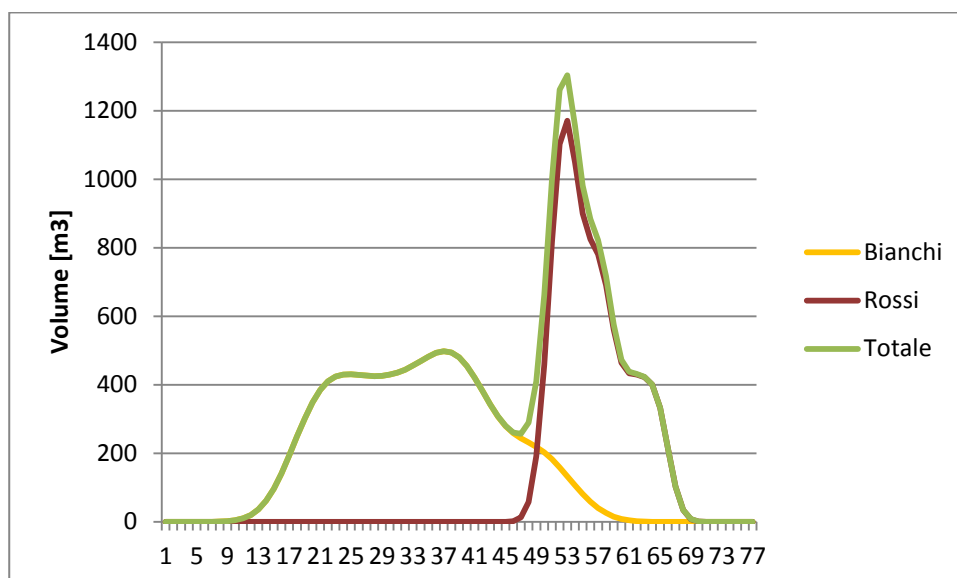


Figura 59 Rilascio anidride carbonica fermentazione: volume

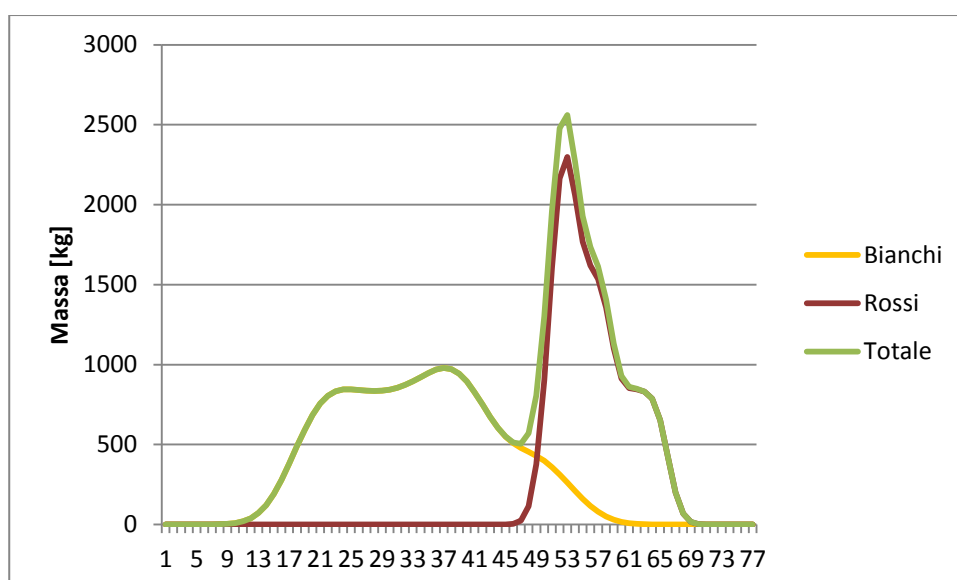


Figura 60 Rilascio anidride carbonica fermentazione: massa

La Figura 59 e la Figura 60 mostrano il rilascio della CO<sub>2</sub> della fermentazione alcolica nel tempo (giorni) in termini di volume e massa, indicando la produzione dovuta ai vini bianchi e ai vini rossi. La produzione complessiva è di 50.200kg ovvero 25.800m<sup>3</sup> mentre la produzione giornaliera massima è di oltre 2500kg che equivalgono a circa 1300m<sup>3</sup>.

## **4.2. Analisi dei locali non climatizzati basata sul comfort/discomfort del vino**

### **4.2.1. Risultati delle simulazioni energetiche inerenti i locali non climatizzati nelle quattro varianti progettuali**

In questa sezione sono mostrati, per ognuna delle quattro simulazioni, le temperature simulate nell'arco dell'anno all'interno dei locali non climatizzati in cui è prevista la presenza del vino per periodi di tempo prolungati 01.VIN e 03.IMB (dalla Figura 61 alla Figura 68). I grafici inerenti l'andamento delle temperature per i locali non climatizzati riportano anche la soglia minima (linea blu 12°C) e la massima (linea rossa 18°C) che definiscono il benessere termico del vino come esplicitato nel paragrafo 3.6. Successivamente i risultati sono stati riassunti in tabelle (vedi Tabella 10 e Tabella 11), confrontati e commentati in termini di discomfort e di attenuazione.



## ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE NEI LOCALI NON CLIMATIZZATI

### Risultati relativi alla soluzione PUG.min

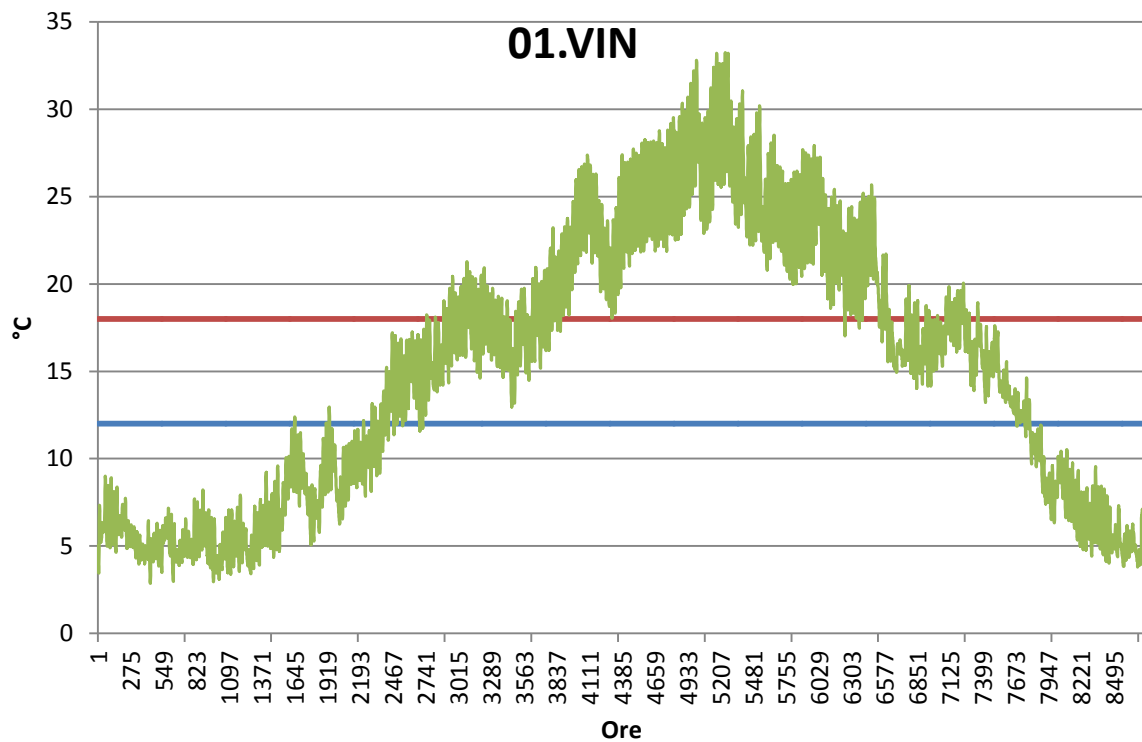


Figura 61 Andamento delle temperature all'interno del locale 01.VIN (PUG.min)

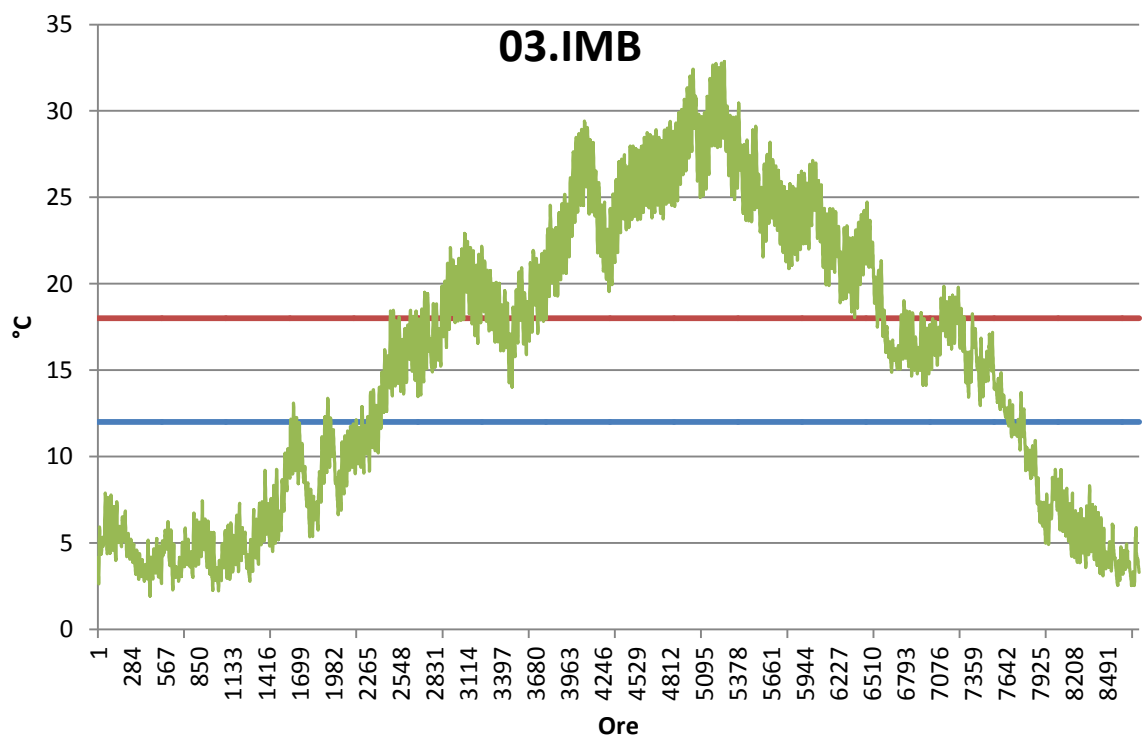


Figura 62 Andamento delle temperature all'interno del locale 03.IMB (PUG.min)

I grafici, inerenti l'andamento annuale delle temperature nei locali non climatizzati 01.VIN e 03.IMB per la soluzione progettuale PUG.min mostrano un andamento termico molto simile. Le differenze più evidenti riguardano l'escursione termica giornaliera e annuale, il locale 01.VIN (vedi Figura 61) presenta una maggior escursione termica giornaliera e una minore escursione annuale rispetto al locale 03.IMB (vedi Figura 62). Per la maggior parte dell'anno, le temperature simulate sono esterne alla zona di comfort. Solo durante i periodi di aprile-maggio e ottobre-novembre esse sono stabilmente all'interno della zona di comfort stabilita per il vino. Da giugno a settembre le temperature sono spesso al di sopra dei 20 gradi, temperatura considerata nociva per la conservazione del vino da molti studiosi (Marescalchi 1965; Vogt 1971; SEPSA 1952). Le temperature massime superano i 30 gradi e le medie del periodo sono superiori ai 25°C. In particolare concentrandosi sul locale 03.IMB, se si ipotizza che durante questo periodo la maggior parte del vino imbottigliato è già stato venduto, i problemi connessi alle alte temperature sono trascurabili, ipotizzando al contrario una presenza continua delle bottiglie all'interno di questo locale, i dati simulati potrebbero essere un utile strumento per valutare l'eventuale installazione di un impianto di climatizzazione all'interno del locale. Le stesse considerazioni, rapportate al locale 01.VIN, sono importanti per la programmazione inerente l'utilizzo dei vasi climatizzati per la conservazione, infatti, durante i periodi di maggior stress termico, si può valutare il trasferimento del vino nei fermentini dotati di impianto refrigerante. Rispetto a 03.IMB, il locale 01.VIN presenta temperature invernali più alte e estive più contenute, questo dato è riconducibile al parziale interrimento del locale e quindi dagli effetti dovuti all'inerzia termica del terreno. Nello specifico le ore durante l'anno in cui il locale 01.VIN presenta temperature di discomfort sono il 75% del totale, quasi equamente distribuite fra ore in cui la temperatura è eccessiva (37%) e ore in cui la temperatura è inferiore al limite minimo di comfort (38%). I gradi ora complessivi contabilizzati su tutto l'anno, sono oltre 35.000 anche questi equamente suddivisi fra gradi ora in eccesso (17800gh) e gradi ora in difetto (-17600gh). il numero di ore in cui il locale di imbottigliamento presenta temperature esterne all'intervallo di comfort è superiore all'80% con una preponderanza delle ore con temperature in eccesso (42%). Lo stesso risultato è confermato dalle sommatorie delle differenze di temperatura tra temperatura simulata ed estremi dell'intervallo di comfort. Infatti per il locale 03.IMB si calcolano -19200gh in difetto e 21300gh in eccesso con un totale di 40500gh. La differenza fra i due locali è spiegabile considerando il parziale interrimento di 01.VIN, il quale è soggetto in misura minore agli effetti dovuti al soleggiamento e alla variabilità della temperatura esterna rispetto a 03.IMB.

La maggior variazione quotidiana delle temperature all'interno di 01.VIN, percepibile visivamente guardando i grafici Figura 61 e Figura 62, è confermata dal calcolo dei picchi in un anno e dal  $\Delta T$

orario medio. Infatti 01.VIN presenta 900 picchi con  $\Delta T$  orario medio pari a  $0.319^{\circ}\text{C}$  in valore assoluto, mentre 03.IMB ha 876 picchi con  $\Delta T$  orario medio pari a  $0.261^{\circ}\text{C}$  in valore assoluto.

### Risultati relativi alla soluzione PUG.nor

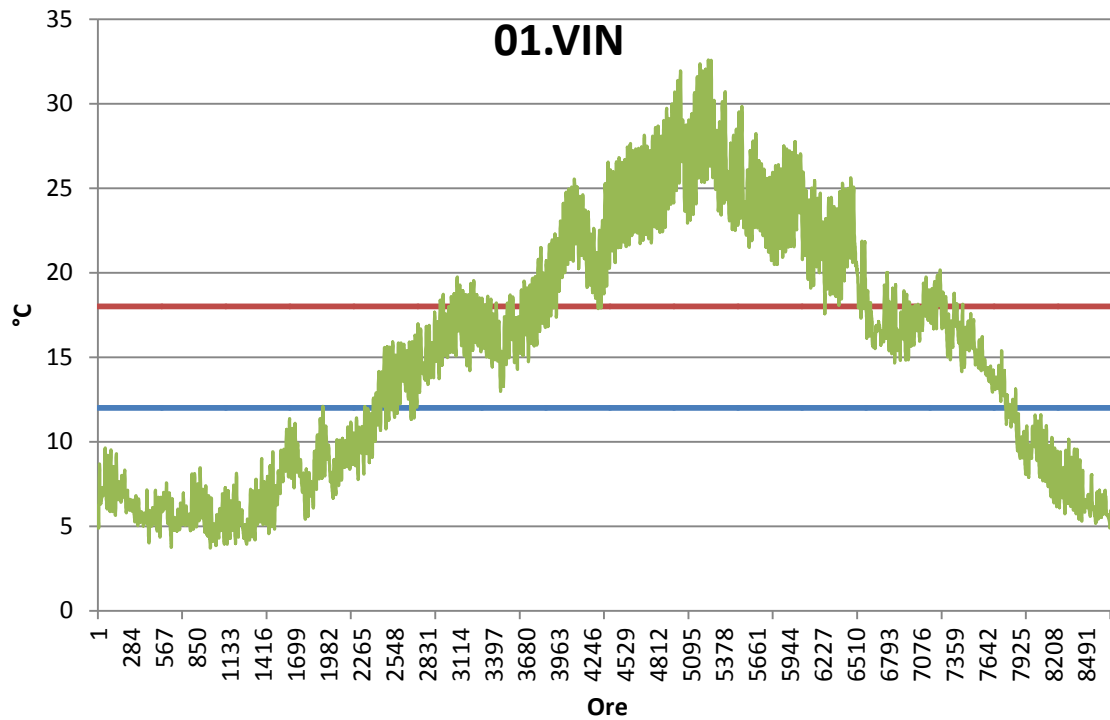


Figura 63 Andamento delle temperature all'interno del locale 01.VIN (PUG.nor)

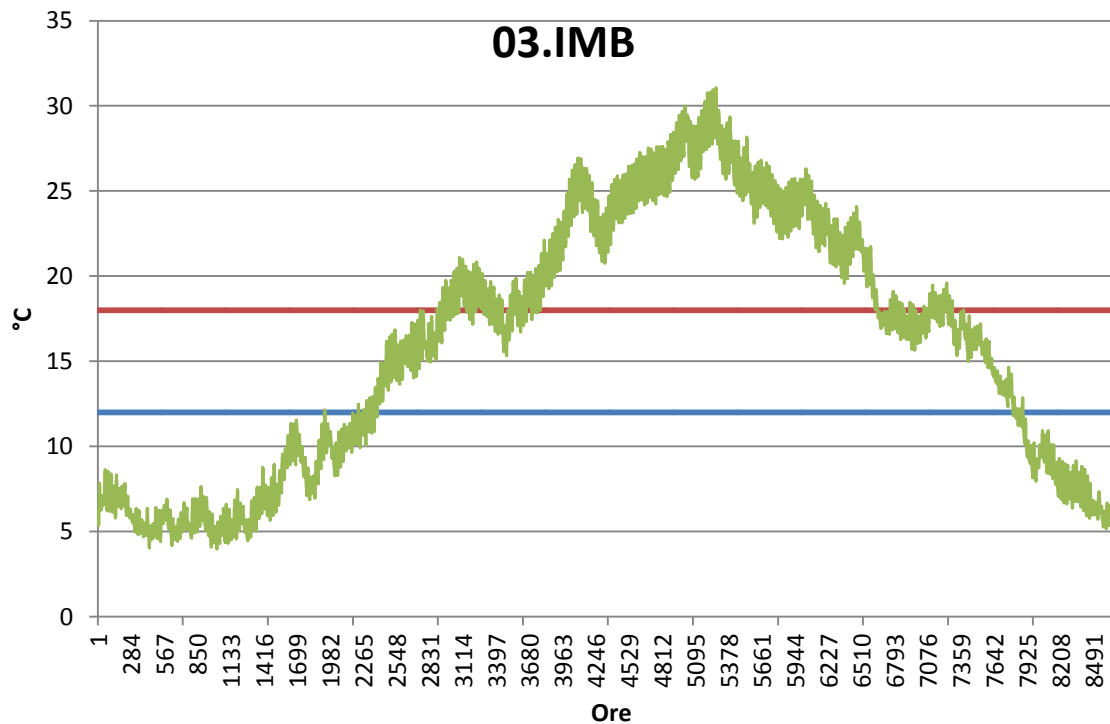


Figura 64 Andamento delle temperature all'interno del locale 03.IMB (PUG.nor)

La soluzione PUG.nor differisce dalla precedente per la modellazione termica dei muri, infatti tutti i muri di questa soluzione presentano valori di trasmittanza rispondenti alla normativa vigente per locali riscaldati. Analizzando i primi due grafici, ovvero l'andamento delle temperature nel tempo all'interno dei due locali non climatizzati 01.VIN e 03.IMB, si nota un andamento sostanzialmente simile a quello riscontrato nella soluzione precedente con alcune differenze, più evidenti nel locale 03.IMB. In questo locale infatti sono state modificate le trasmittanze di tutte le pareti che lo delimitano, mentre per 01.VIN non sono variate quelle delle pareti interrato per la parte sotto il piano di campagna. Le differenze sono riscontrabili in una minor escursione termica sia annuale sia quotidiana rispetto al modello PUG.min. Le ore in cui la temperatura conserva valori compresi nell'intervallo di comfort, sono visibili stabilmente nei mesi di aprile ottobre e novembre. In 01.VIN il totale di queste ore aumenta di un punto percentuale rispetto la soluzione PUG.min (discomfort 74%), il miglioramento risiede nella riduzione delle ore con temperatura in eccesso, mentre resta invariato il totale delle ore con temperatura in difetto. Nel locale 03.IMB la riduzione delle ore di discomfort è di 2 punti percentuali (78%), derivante dalla riduzione delle ore con temperatura in difetto. Questa variazione sembra non incidere significativamente sul numero complessivo delle ore di comfort, incide in maniera molto più significativa se si valutano i gradi ora, infatti la riduzione delle escursioni termiche porta ad una sensibile riduzione nel conto dei gradi ora. Il locale 01.VIN mostra un totale di 32.500gh (PUG.min 35.000gh) di cui -15.900 derivanti dalle temperature fredde e 16.600 da quelle calde. 03.IMB, in questa soluzione, presenta 34.900 gh (PUG.min 40.500gh), ovvero una riduzione del 14% rispetto a PUG.min di cui -15.100gh calcolati per le temperature al di sotto della soglia minima dell'intervallo di comfort e 19.800gh per temperature al di sopra della soglia massima. L'aumento di isolamento termico delle pareti, consente al locale fuori terra 03.IMB di raggiungere prestazioni termiche simili a quelle del locale seminterrato 01.VIN, la differenza fra i due locali resta significativa nei gradi ora in eccesso, questo dato resta probabilmente collegato al maggiore soleggiamento cui è sottoposto 03.IMB.

Il numero di picchi di temperatura di 01.VIN e 03.IMB resta pressoché stabile, in 01.VIN si riscontra persino un lieve aumento (01.VIN da 900 a 914, 03.IMB da 876 a 834) il miglioramento è invece percepibile nel  $\Delta T$  medio di entrambi i locali, per 01.VIN si ha  $0.284^{\circ}\text{C}$  (PUG.min  $0.319^{\circ}\text{C}$ ) per 03.IMB il valore è di  $0.261^{\circ}\text{C}$  (PUG.min  $0.176^{\circ}\text{C}$ ).

Risultati relativi alla soluzione AGR.min

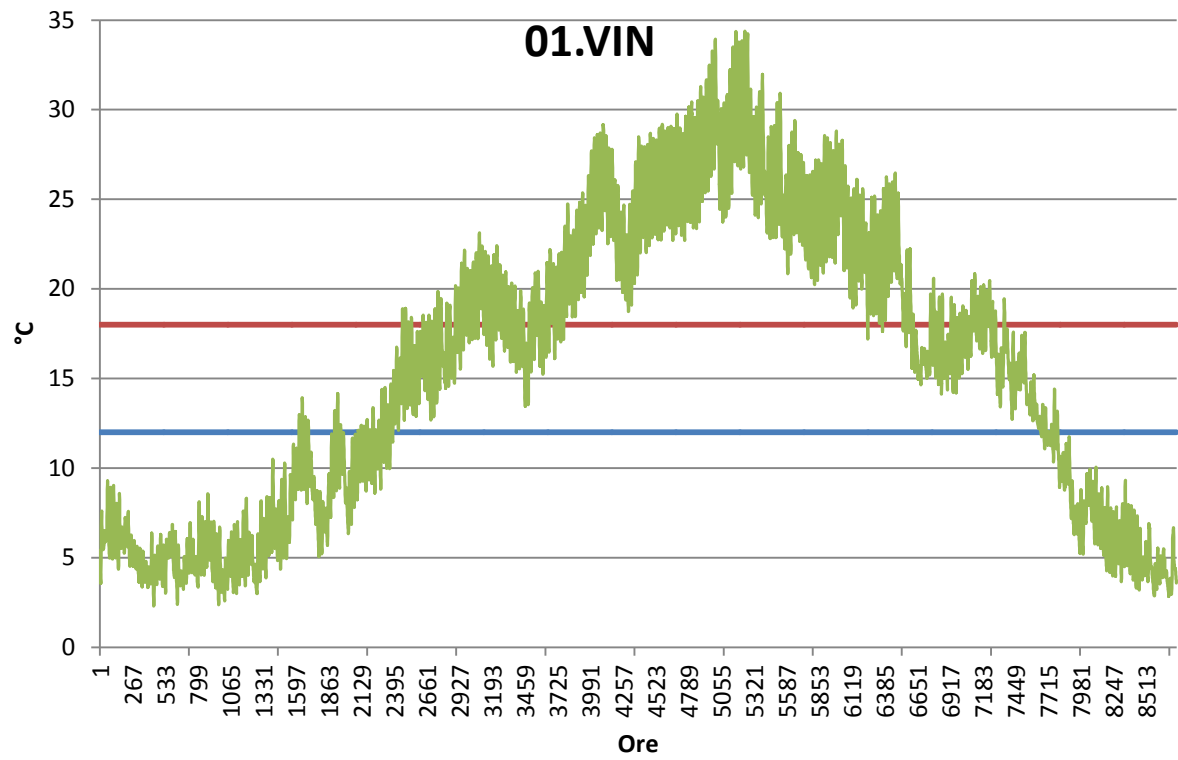


Figura 65 Andamento delle temperature all'interno del locale 01.VIN (AGR.min)

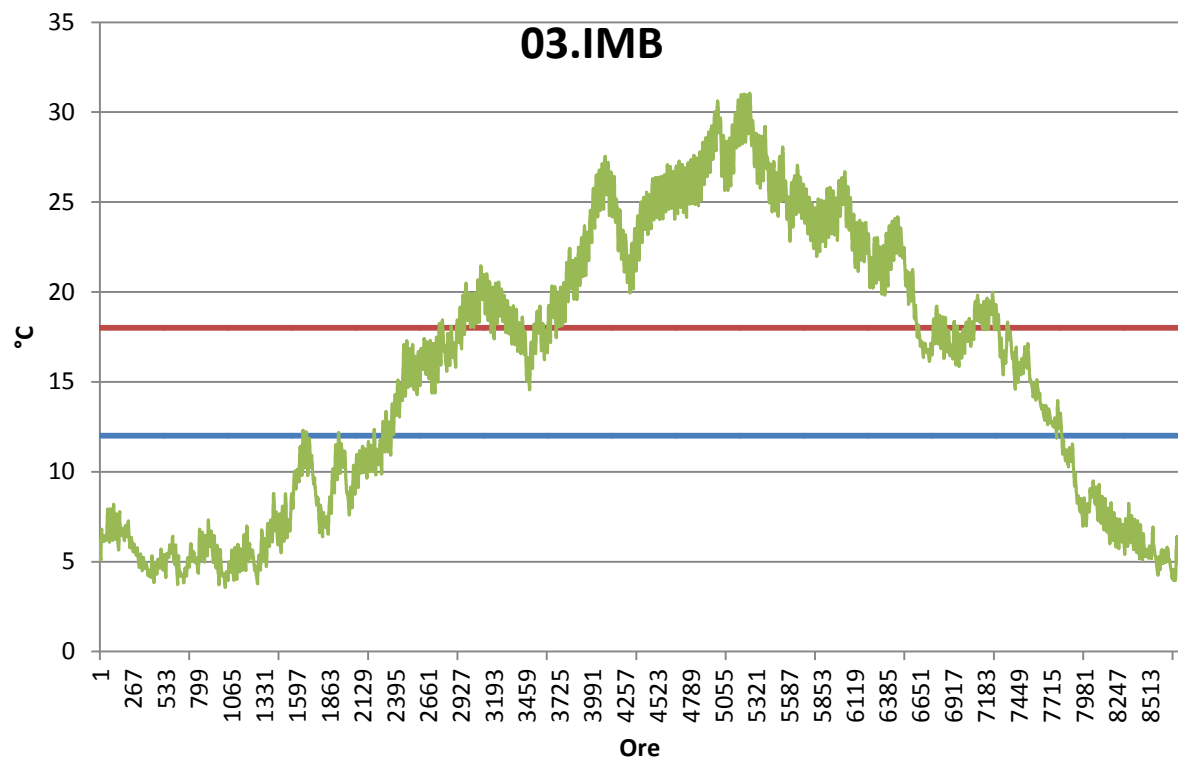


Figura 66 Andamento delle temperature all'interno del locale 03.IMB (AGR.nor)

I grafici, inerenti l'andamento annuale delle temperature nei locali non climatizzati 01.VIN e 03.IMB, mostrano un andamento termico simile. Le differenze più evidenti riguardano l'escursione termica giornaliera e annuale, a differenza delle modellazioni precedenti il locale 01.VIN presenta una maggior escursione termica sia giornaliera sia annuale rispetto al locale 03.IMB. Questo risultato può dipendere dal fatto che il locale 01.VIN è disposto per tutta l'altezza dell'edificio e quindi ha un maggior rapporto di superfici divisorie con l'esterno rispetto al locale 03.IMB che, in questo caso, risulta protetto da un altro locale posto sopra di esso. Per la maggior parte dell'anno, le temperature simulate sono esterne alla zona di comfort. Solo durante i periodi di aprile-maggio e o novembre esse sono stabilmente all'interno della zona di comfort stabilita per il vino. Da giugno a settembre le temperature sono frequentemente al di sopra dei 20 gradi. Le temperature massime sfiorano i 35°C e le medie del periodo sono superiori ai 25°C. anche in questo caso, i risultati suggeriscono di non conservare il vino imbottigliato all'interno di 03.IMB e di mantenere il vino stoccato in 01.VIN all'interno di vasi climatizzati. Nello specifico le ore durante l'anno in cui il locale 01.VIN presenta temperature di discomfort sono il 80% del totale, con una preponderanza delle ore con temperature eccessive (42%) rispetto a quelle con temperature basse (38%). I gradi ora complessivi contabilizzati su tutto l'anno, sono oltre 39000 gh con una differenza ancora più netta per le ore con temperature in eccesso (21100gh) rispetto a quelle in difetto (-17900gh). il numero di ore in cui il locale di imbottigliamento presenta temperature esterne all'intervallo di comfort è superiore all'80% con una preponderanza delle ore con temperature in eccesso (43%). Lo stesso risultato è confermato dalle sommatorie delle differenze di temperatura tra temperatura simulata ed estremi dell'intervallo di comfort. Infatti per il locale 03.IMB si calcolano -16200gh in difetto e 20500gh in eccesso con un totale di 36800gh.

È interessante notare che in questo caso, con entrambi i locali fuori terra, vi sia un comportamento termico molto simile, in cui 03.IMB presenta valori leggermente migliori in quanto protetto dal locale superiore.

Considerazioni inerenti la stabilità indicano che 01.VIN ha 853 picchi con  $\Delta T$  orario medio pari a 0.344°C in valore assoluto, mentre 03.IMB ha 999 picchi con  $\Delta T$  orario medio pari a 0.154°C in valore assoluto. Anche in questa situazione non vi è una correlazione evidente fra numero di picchi e  $\Delta T$ .

Risultati relativi alla soluzione AGR.nor

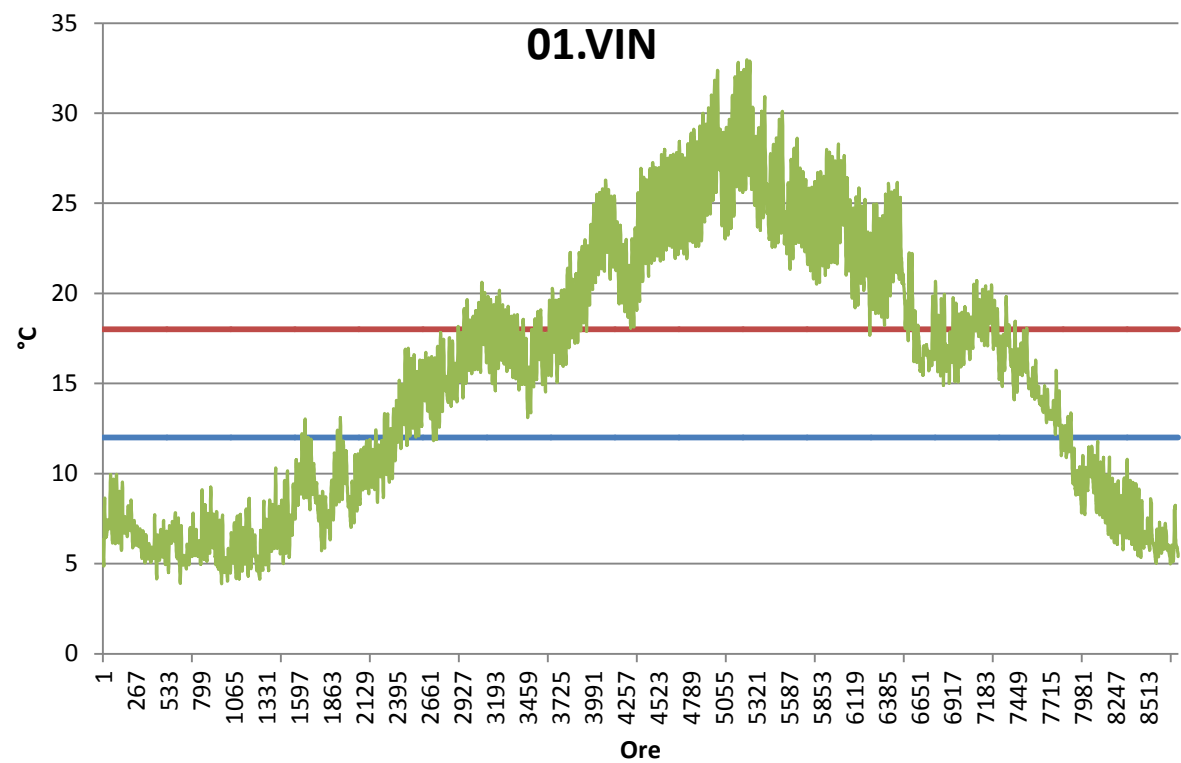


Figura 67 Andamento delle temperature all'interno del locale 01.VIN (AGR.nor)

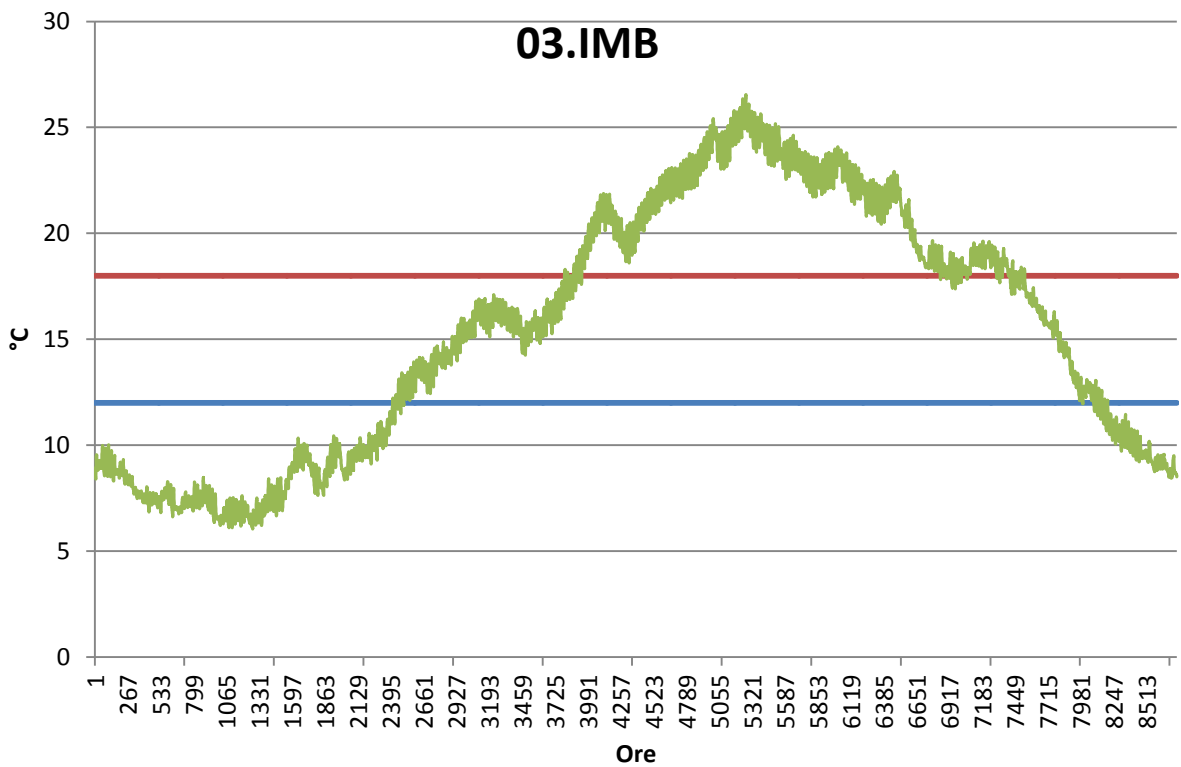


Figura 68 Andamento delle temperature all'interno del locale 03.IMB (AGR.nor)



I grafici relativi all'andamento delle temperature nei locali non climatizzati, mostrano come il locale 03.IMB abbia un notevole giovamento dall'isolamento termico in termini di escursione annua ed escursione termica giornaliera. Il numero di ore in un anno, in cui la temperatura interna è fuori dall'intervallo di comfort, è pressoché simile alle altre soluzioni nel caso del locale 01.VIN (75%), mentre nel caso di 03.IMB si nota un notevole miglioramento, infatti le ore di discomfort scendono al 75% del totale, in linea con il locale 01.VIN. Le ore con la temperatura in eccesso sono in entrambi i casi leggermente sbilanciate verso le temperature in eccesso (38% 01.VIN, 40% 03.IMB). I gradi ora calcolati per il locale di vinificazione 01.VIN sono in totale 32.400gh, - 14.700gh in difetto e 17700 in eccesso; nel locale 03.IMB il totale è di 23300gh con -10500gh in difetto e 12800gh in eccesso.

La stabilità termica del locale 01.VIN è simile a quella riscontrata nelle simulazioni precedenti con 876 picchi e un  $\Delta T$  orario medio di  $\pm 0.303^{\circ}\text{C}$ . Nel locale 03.IMB, a fronte di un leggero aumento del numero di picchi, si denota una notevole riduzione del  $\Delta T$  orario medio che si assesta in  $\pm 0.098^{\circ}\text{C}$ .

Confrontando questi dati con la soluzione precedente risulta che il locale 03.IMB ottiene notevoli vantaggi grazie alla sua posizione protetta (rispetto alla soluzione precedente è collocato al di sotto di un locale) e all'isolamento, sensibili vantaggi, ma meno evidenti, sono riscontrabili anche per il locale di vinificazione 01.VIN.



#### 4.2.2. Analisi relative agli indicatori di Discomfort e Attenuazione per la valutazione dell' idoneità dei locali non climatizzati ad ospitare il vino

##### 1. Discomfort

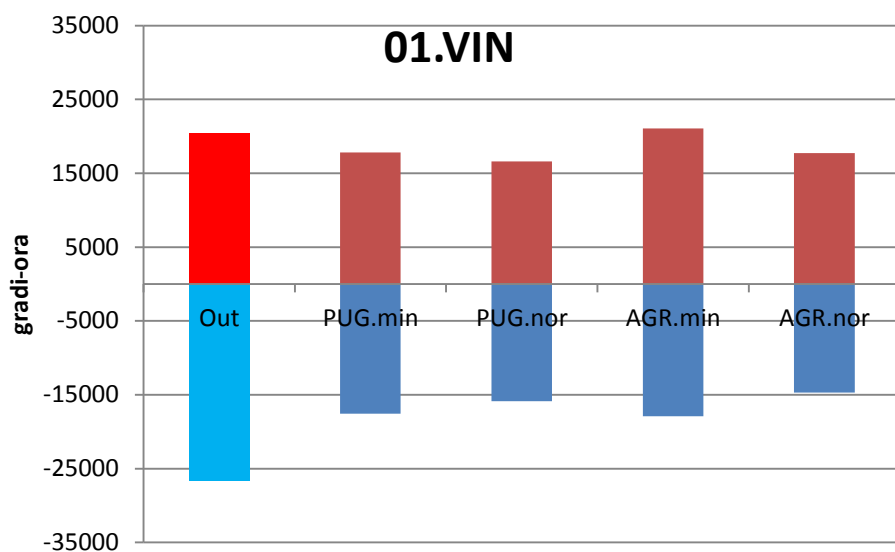


Figura 69 Confronto risultati: Discomfort per 01.VIN

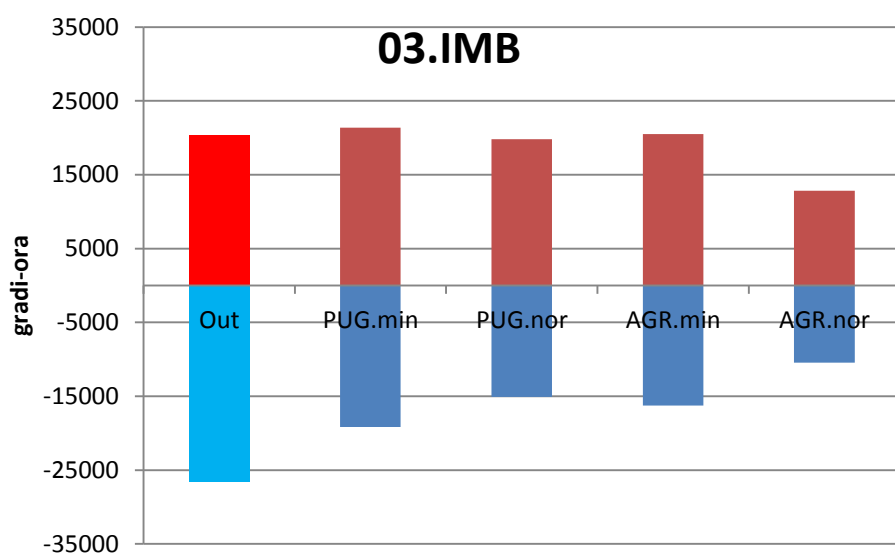


Figura 70 Confronto risultati: Discomfort per 03.IMB

I risultati inerenti il discomfort sono stati riassunti in due grafici, uno riguardante il locale di vinificazione 01.VIN (vedi Figura 69) ed uno riguardante il locale di imbottigliamento 03.BAR (vedi Figura 70). Nei grafici, per ognuna delle quattro varianti indagate, è visibile il discomfort espresso in termini di gradi ora in accordo con il calcolo descritto nel Paragrafo 3.6. Per avere un termine di paragone, i grafici riportano anche i risultati del calcolo stesso applicato alla temperatura esterna. La colonna denominata *Out* può essere quindi interpretata come la visualizzazione del

discomfort termico, nell'arco di un anno, all'interno di una stanza in costante equilibrio termico con l'esterno, le cui pareti di delimitazione non sono soggette ne' a vento ne' ad irraggiamento. I gradi ora in eccesso (calcolati sulle temperature sopra i 18°C) sono riportati in rosso, quelli in difetto (temperature sotto i 12°C) riportati in blu.

I risultati inerenti l'attenuazione, ottenuti attraverso l'analisi dei risultati della simulazione, sono: il numero dei picchi in un anno e il gradiente medio di temperatura. Al solo fine di migliorarne la comprensibilità, i dati ottenuti sono stati elaborati (vedi Figura 71 e Figura 72) attraverso la seguente funzione sinusoidale:

#### Equazione 7

$$T = A \cdot \sin(\pi f t)$$

$$\text{con } f = n_p / h_a \text{ e } A = \Delta T_m / f$$

Dove T è la temperatura [°C] al tempo t [h], A è l'ampiezza [°C] di ogni fase, f è la frequenza,  $n_p$  il numero di picchi e  $h_a$  sono le ore in un anno [h]. Questa funzione mostra nell'arco di due giorni l'andamento medio della temperatura esterna e dei locali di riferimento. Minore sono ampiezza e numero di picchi, migliore è la stabilità del locale.

Analizzando i risultati delle 4 simulazioni, il caso che presenta il maggior discomfort è AGR.min, dove, per i gradi ora in eccesso, supera, seppur leggermente, persino il discomfort generato dalla temperatura esterna. Per il locale 01.VIN si vede una differenza minima fra la soluzione PUG.min e PUG.nor, gli effetti derivanti dall'aumento di isolamento sono quindi minimi nel locale di vinificazione. Il passaggio da AGR.min a AGR.nor migliora il comfort termico facendo assestare i dati relativi a 01.VIN in AGR.nor a valori simili alla soluzione seminterrata.

Il locale 03.IMB presenta valori di gradi ora in eccesso molto simili per le tutte le soluzioni ad esclusione di AGR.nor, i cui valori sono decisamente ridotti. I valori delle prime tre soluzioni sono prossimi a quelli calcolati sui dati climatici esterni. Per quanto riguarda i gradi ora in difetto le tre simulazioni presentano valori abbastanza diversi. Nel complesso si vede come la soluzione AGR.nor sia decisamente più performante delle altre per il locale 03.IMB. Le cause di questo risultato possono essere imputate ad una combinazione fra la collocazione al piano inferiore dell'edificio e l'aumento di isolamento termico.

Nel complesso è interessante notare che le quattro soluzioni, in entrambi i locali, riducono in maniera sensibile il discomfort legato alle basse temperature, al contrario, inerentemente alle alte

temperature, non sono visibili miglioramenti delle performance termica altrettanto sensibili, fatta eccezione per la soluzione AGR.nor per il locale 03.IMB.

Lo studio svolto costituisce uno strumento di primaria utilità per la conduzione di analisi più dettagliate che dovrebbero essere svolte specifiche del settore enologico. Esse potrebbero portare a individuare i periodi critici per la conservazione del vino e a prevedere idonee modalità di preservazione del prodotto, come ad esempio la sua collocazione in tini climatizzati o in ultima istanza, l'installazione di un impianto di climatizzazione.

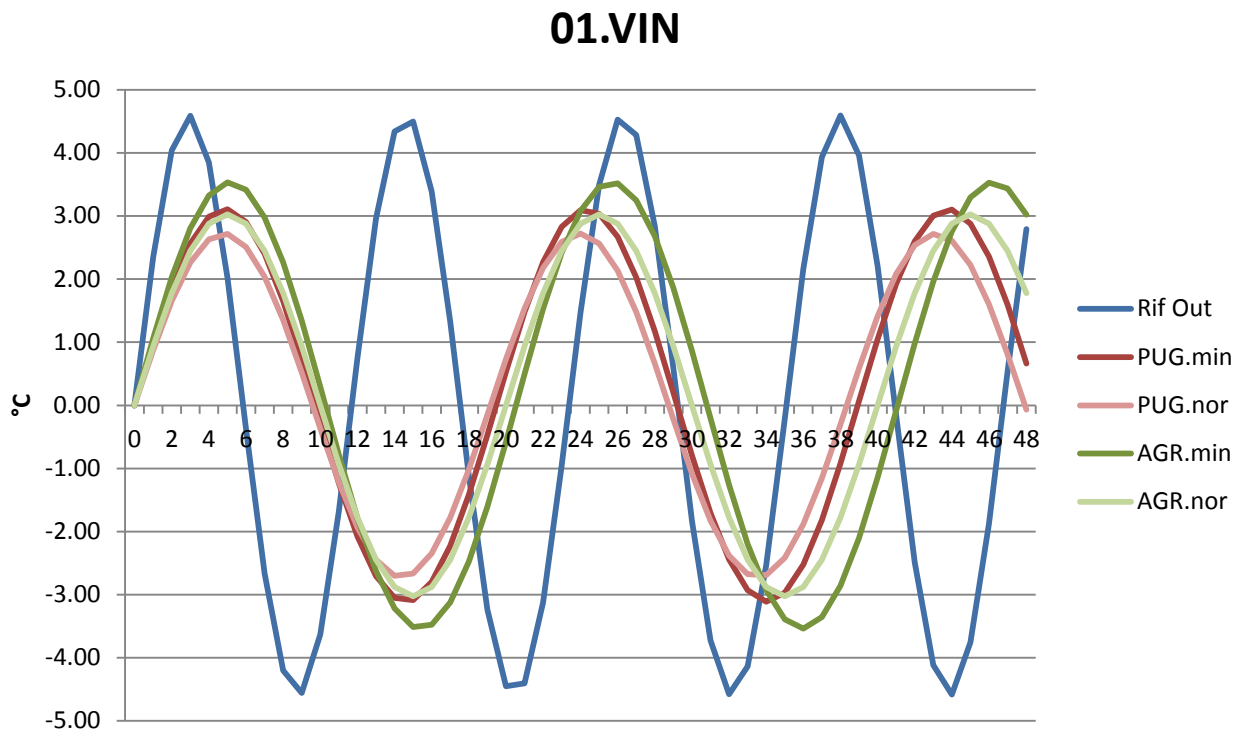


Figura 71 Confronto risultati: attenuazione in 01.VIN

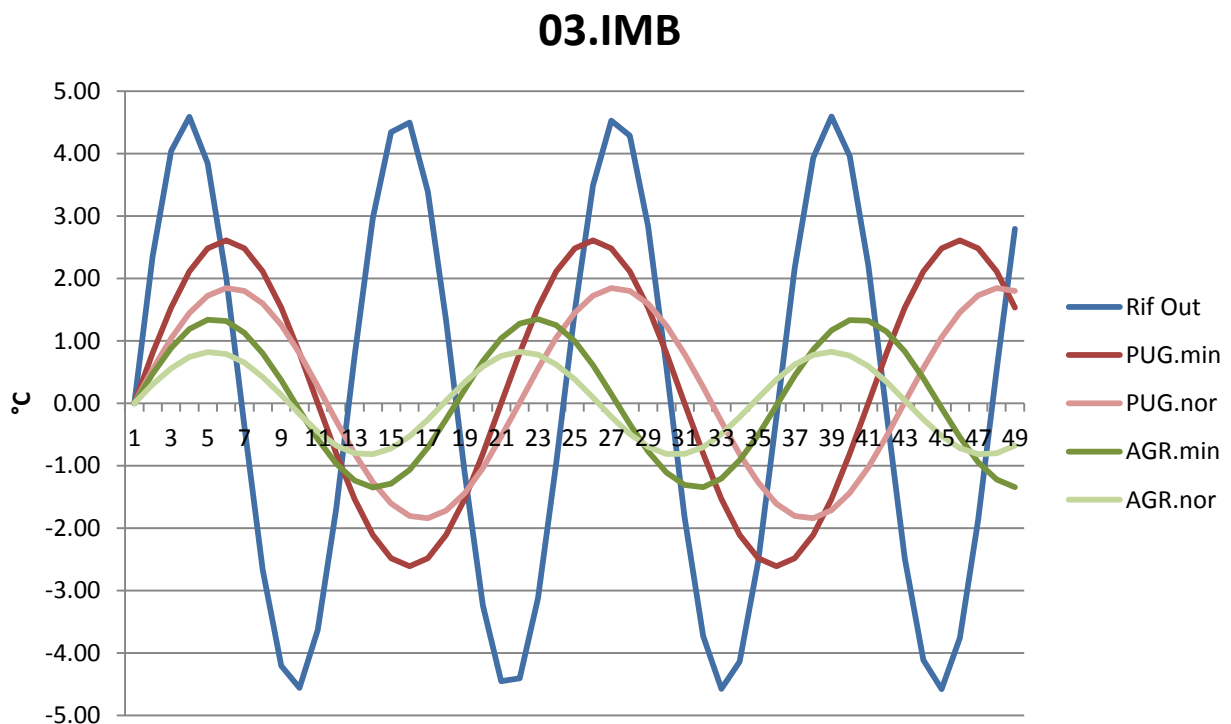


Figura 72 Confronto risultati: attenuazione in 03.IMB

I grafici relativi all'attenuazione (vedi Figura 71 e Figura 72) mostrano l'oscillazione media della temperatura rispetto alla propria temperatura media all'interno dei locali di riferimento non

climatizzati per le quattro soluzioni indagate nell'arco di 48 ore. È importante notare che essi non rappresentano un reale andamento delle temperature (registrato o simulato) ma sono da intendersi unicamente come una modalità di visualizzazione dei valori calcolati sull'attenuazione. Si ricorda infatti che le sinusoidi rappresentate sono generate utilizzando il numero di picchi e il  $\Delta T$  medio come esplicitato nell'Equazione 7 del presente capitolo. Oltre alle sinusoidi delle quattro soluzioni indagate, è riportata quella calcolata sui valori della temperatura esterna usata, in questa situazione, come metro di paragone. Il locale è considerato tanto più performante quanto più la curva relativa alla temperatura presenta valori prossimi allo 0, in altre parole si vuole che le proprietà termiche del locale “appiattiscano” la curva delle T interne.

Il locale 01.VIN mostra andamenti molto simili per tutte le soluzioni. In generale si nota una riduzione di circa 1-1.5°C, rispetto alla temperatura esterna e un minore numero di picchi (pari a circa la metà di Rif Out). L'ampiezza maggiore compete ad AGR.min, la minore ad PUG.nor, questi risultati sono ritenuti ragionevoli in relazione alle variabili coinvolte nella progettazione.

Il locale 03.IMB mostra minori ampiezze e minore numero di picchi, dimostrandosi più stabile del locale 01.VIN. Le soluzioni indagate differiscono sensibilmente, le versioni PUG risultano meno stabili delle AGR, fatto probabilmente causato dalla posizione del locale all'interno dell'edificio. Essendo 03.IMB al di sotto di un altro locale nella configurazione AGR, gode della protezione all'irraggiamento e all'andamento termico esterno.

Confrontando i risultati di discomfort e attenuazione, non è possibile notare una forte correlazione fra i due indicatori, suggerendo che una buona analisi sulle prestazioni termiche dei locali non climatizzati dovrebbe tenere conto di entrambi gli indicatori per una analisi accurata finalizzata alla valutazione dell'idoneità del locale ad ospitare il vino durante l'intero l'anno o comunque per periodi prolungati.



### **4.3. Dimensionamento impianto termico**

In questa sezione vengono mostrati prima i risultati relativi alla climatizzazione degli ambienti, successivamente quelli ottenuti dal calcolo del carico termico necessario per il raffrescamento delle uve e del mosto durante il processo di vinificazione, dal conferimento allo stoccaggio, infine i dati su climatizzazione e raffrescamento vengono uniti e vengono fatte considerazioni su un potenziale dimensionamento degli impianti.

#### **4.3.1. Potenze e carichi termici: climatizzazione degli ambienti**

Dapprima è mostrato, per ognuna delle quattro simulazioni, il calore sensibile necessario per la climatizzazione degli impianti, il quale, essendo un'energia nell'unità di tempo (ora), può anche essere letto come la potenza media oraria calcolata nei locali climatizzati 02.BAR, 05.UFF e 06.LAB. Nei grafici tutte le potenze medie orarie espresse in Watt sono state riportate in valore assoluto (valori positivi sia per il raffrescamento sia per il riscaldamento). La differenza fra la potenza media oraria necessaria per il riscaldamento e quella per il raffrescamento è evidenziata tramite la colorazione: la linea rossa rappresenta le potenze medie orarie per il riscaldamento, la blu per il raffrescamento.

## CALORE SENSIBILE CALCOLATO NEI LOCALI CLIMATIZZATI

Risultati relativi alla soluzione PUG.min

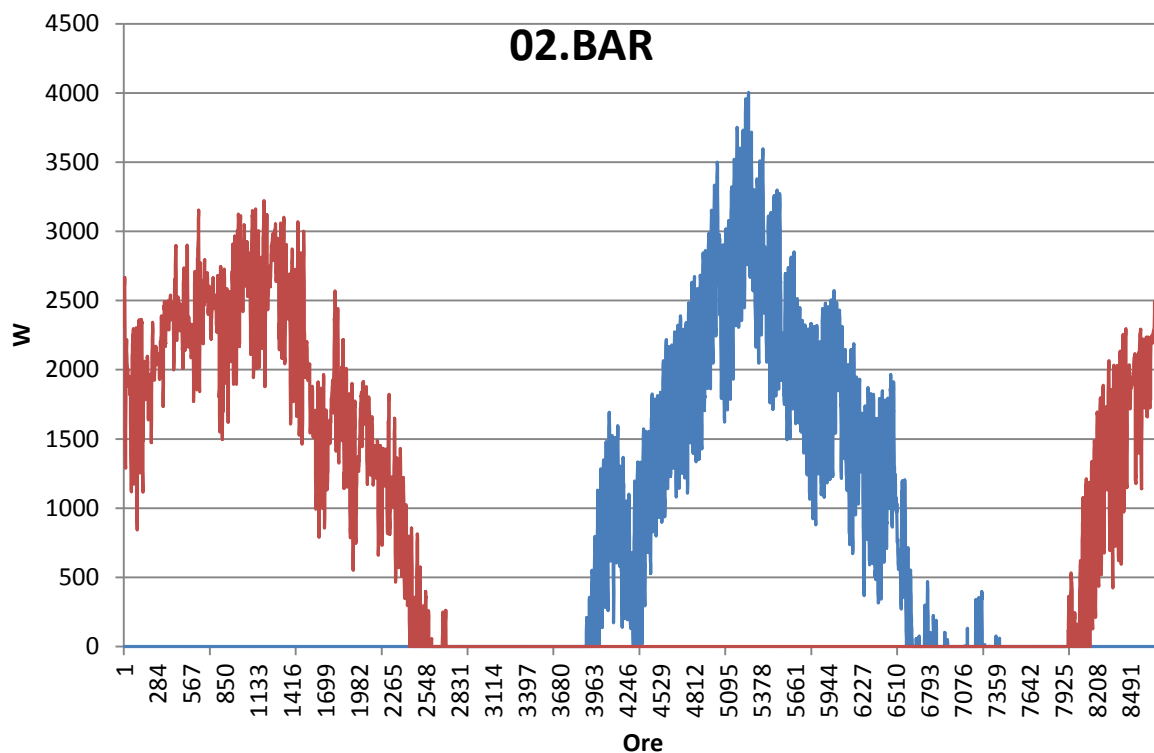


Figura 73 Potenze medie orarie nel locale 02.BAR

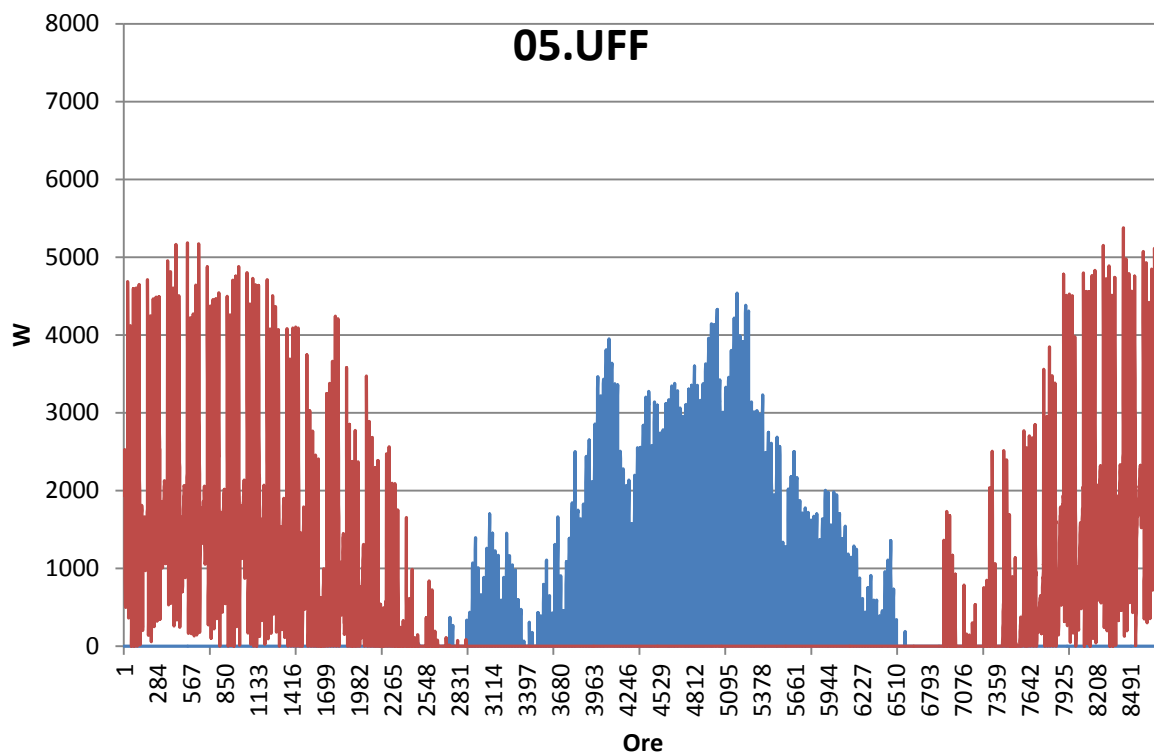


Figura 74 Potenze medie orarie nel locale 05.UFF

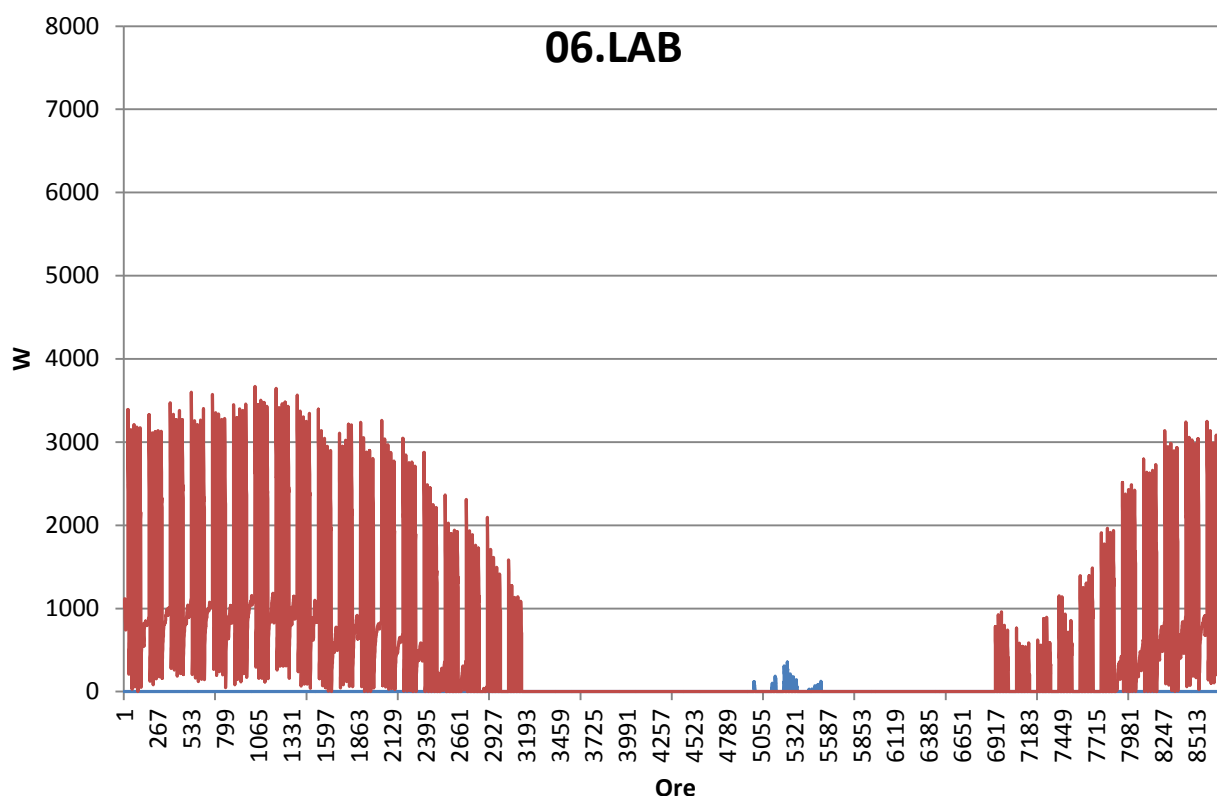


Figura 75 Potenze medie orarie nel locale 06.LAB

I grafici relativi ai locali climatizzati mostrano l'energia media oraria necessaria per mantenere la temperatura all'interno dell'intervallo prefissato dal termostato. Tali dati possono essere interpretati come le potenze che un ipotetico impianto deve sostenere per la climatizzazione. In ascissa si trovano le ore dell'anno e in ordinata la potenza media oraria espressa in watt. Nel locale di invecchiamento 02.BAR si possono notare le maggiori potenze richieste dal raffrescamento (oltre 4000W contro 3200W). Per mantenere le temperature di comfort del vino, l'impianto non entra in funzione per un periodo complessivo di circa due mesi e mezzo (aprile, ottobre e novembre). Il locale che ospita gli uffici e la commercializzazione 05.UFF richiede potenze in riscaldamento e in raffrescamento simili attorno ai 5000W. L'impianto è sostanzialmente sempre funzionante ad eccezione della prima metà di ottobre dove le temperature interne richiederebbero l'accensione dell'impianto ma la normativa nazionale ne impedisce l'utilizzo (si ricorda a tal proposito che l'area studio ricada nella zona climatica E). Il locale destinato al laboratorio 06.LAB, grazie all'interramento richiede potenze inferiori per il riscaldamento rispetto gli altri locali (circa 3500W) e praticamente nulle per il raffrescamento.

Risultati relativi alla soluzione PUG.nor

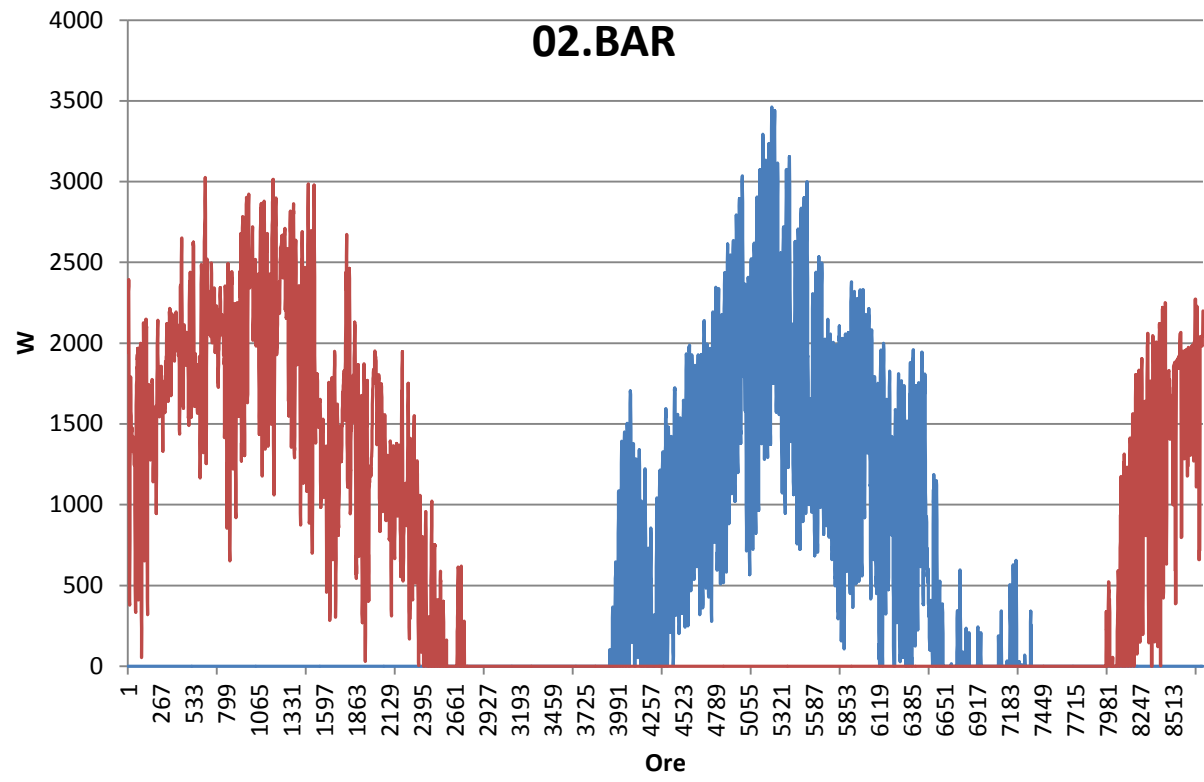


Figura 76 Potenze medie orarie nel locale 02.BAR

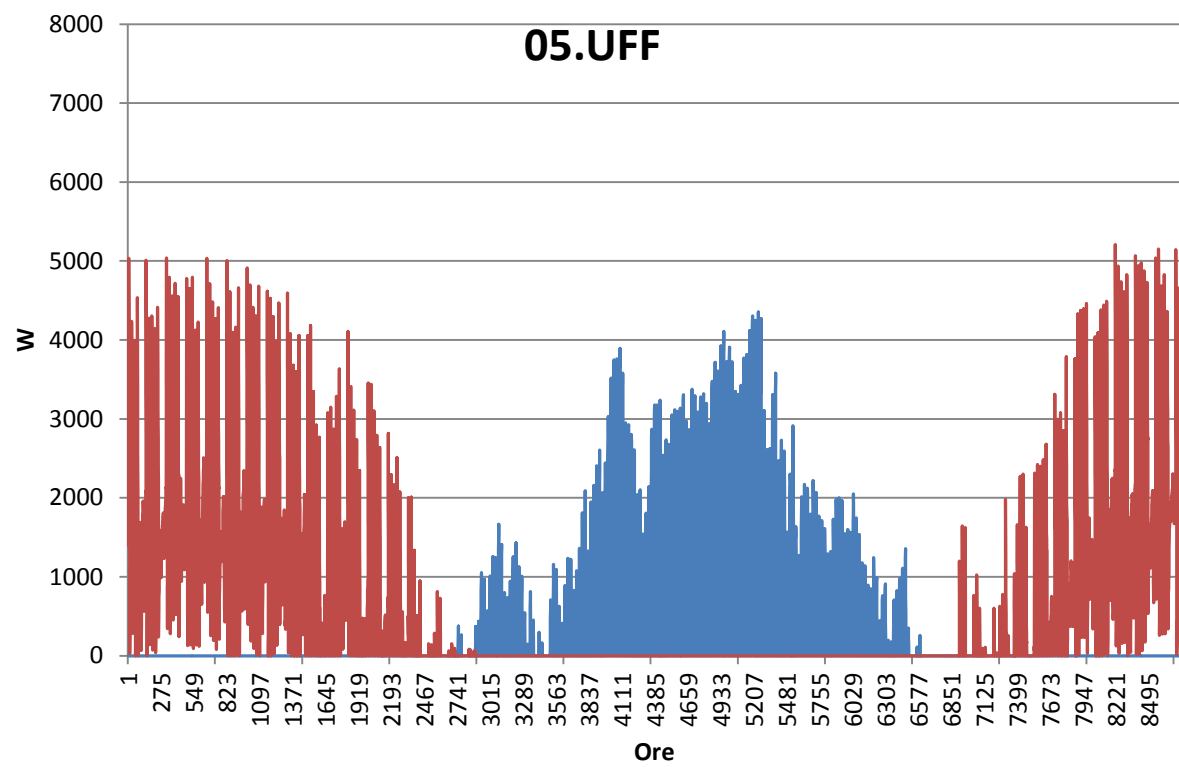
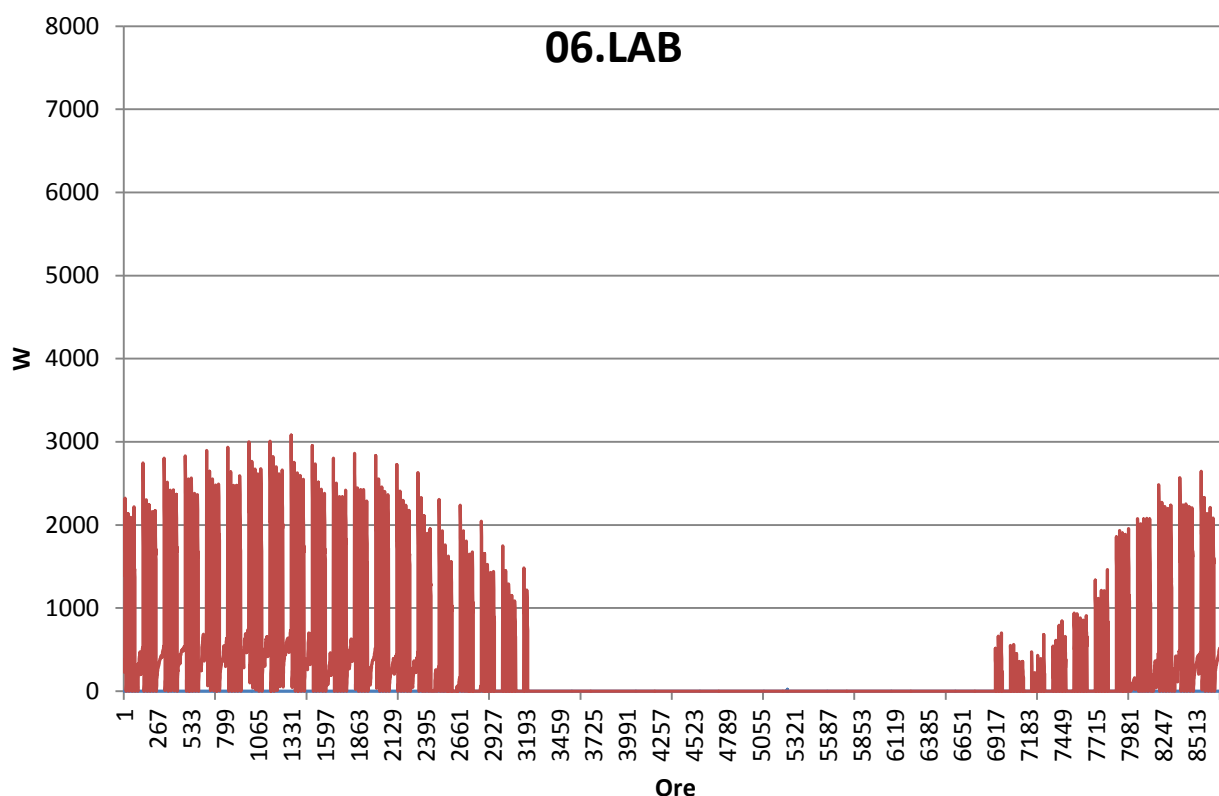


Figura 77 Potenze medie orarie nel locale 05.UFF



**Figura 78 Potenze medie orarie nel locale 06.LAB**

I locali climatizzati, sebbene non coinvolti direttamente nelle modifiche tra PUG.min e PUG.nor, in quanto la trasmittanza delle pareti in queste stanze non vengono modificate, mostrano potenze energetiche inferiori seppur di poco alla soluzione precedente. La maggior stabilità termica dei locali non climatizzati, genera quindi un beneficio anche nei locali provvisti di impianti di climatizzazione. Le potenze del locale 02.BAR hanno picchi di 3000W per il riscaldamento e inferiori a 4000W per il raffrescamento, nei mesi di maggio e novembre l'impianto resta praticamente spento. Il locale di uffici e commercializzazione 05.UFF necessita di potenze massime di 5000W per il riscaldamento e inferiori a 4500W per il raffrescamento. Nel locale 06.LAB la potenza massima richiesta si abbassa a 3000W per il riscaldamento e diventa trascurabile (24W per una sola ora) quella per il raffrescamento.

**Risultati relativi alla soluzione AGR.min**

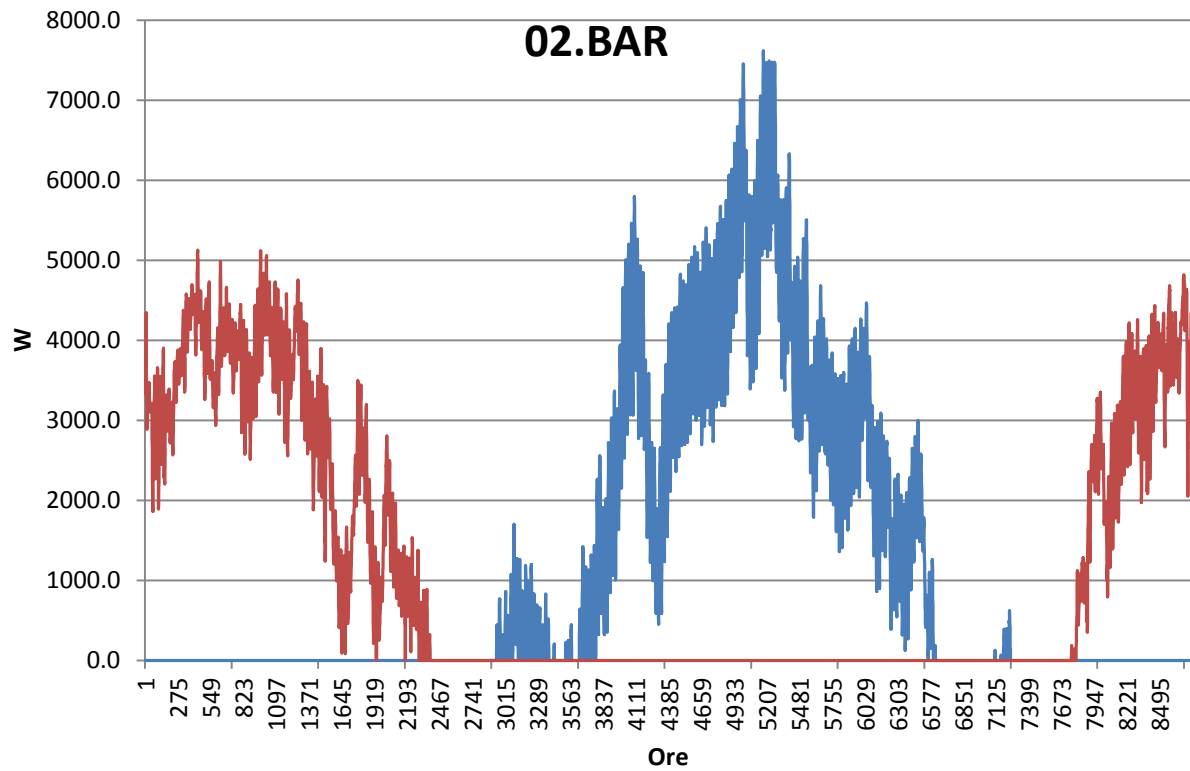


Figura 79 Potenze medie orarie nel locale 02.BAR

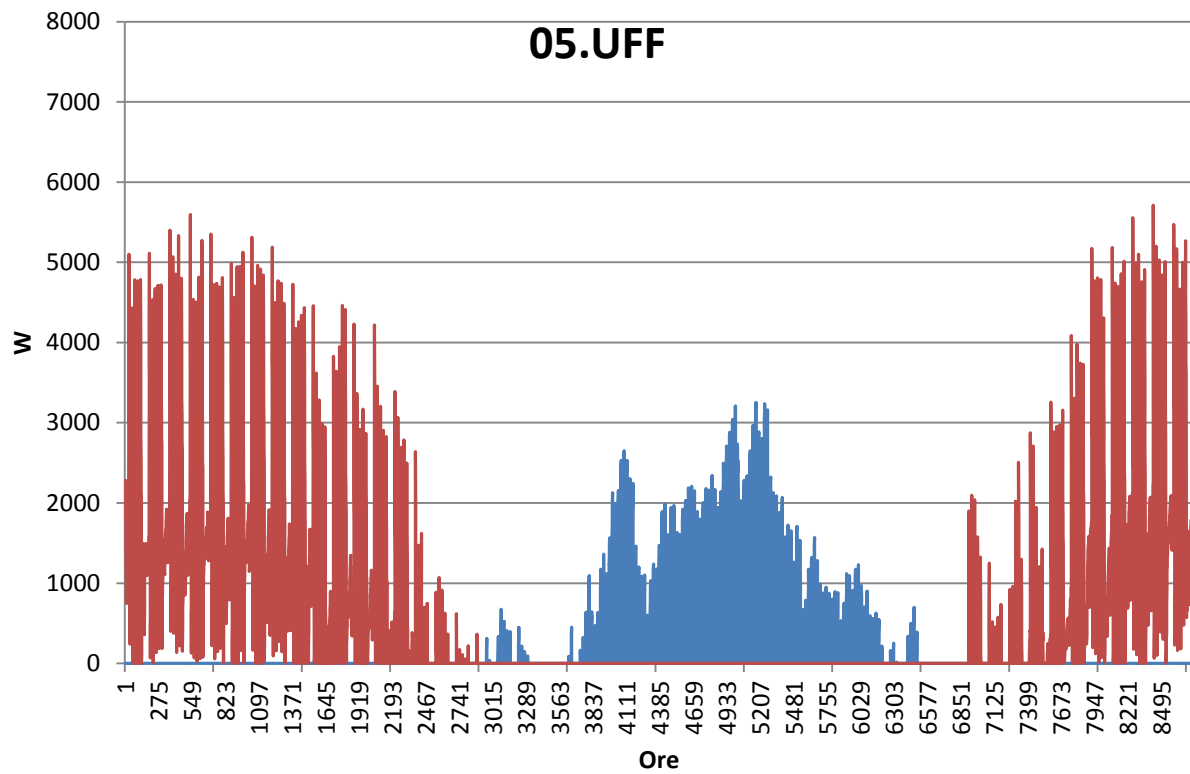
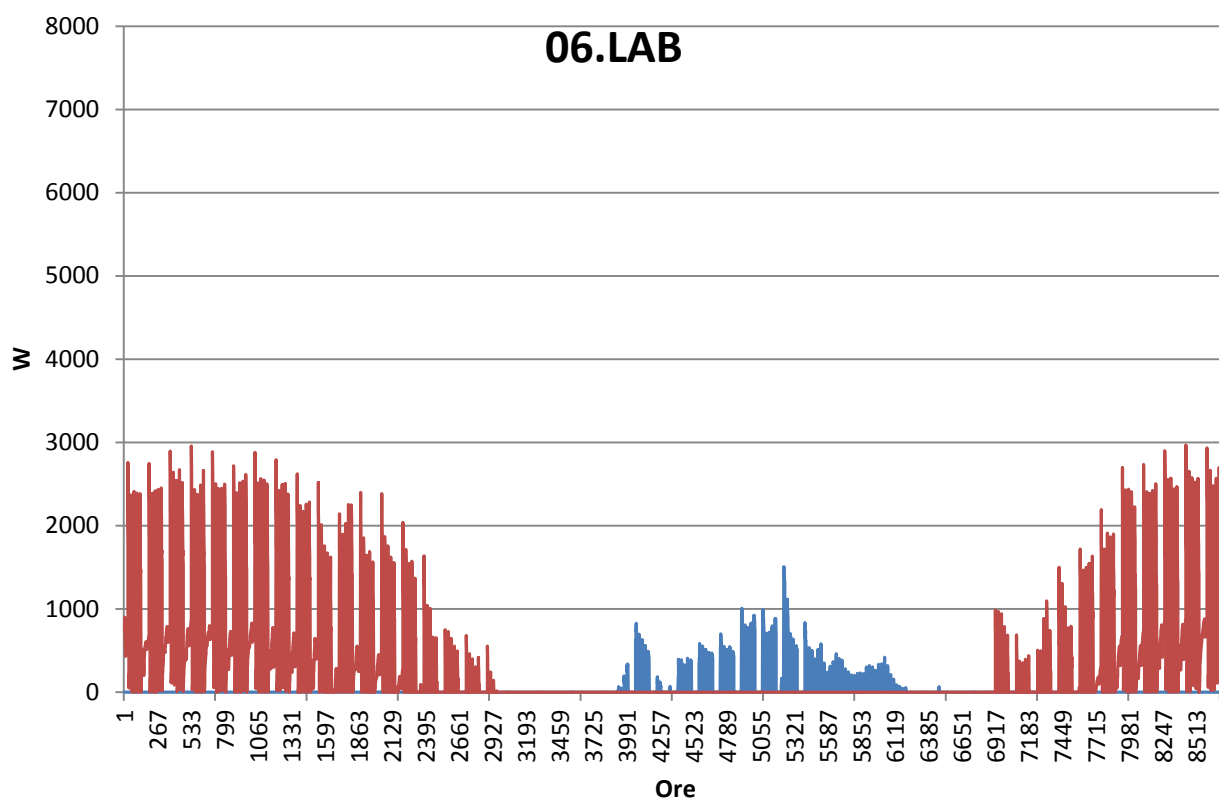


Figura 80 Potenze medie orarie nel locale 05.UFF



**Figura 81 Potenze medie orarie nel locale 06.LAB**

I grafici relativi ai locali climatizzati mostrano la potenza richiesta dall'impianto di climatizzazione. Nel locale di invecchiamento 02.BAR si possono notare che le potenze richieste dal raffrescamento raggiungono valori molto elevati (oltre 7000W per il raffrescamento 5000W per il riscaldamento). Per mantenere le temperature di comfort del vino, l'impianto non entra in funzione per un periodo complessivo di circa due mesi e mezzo (aprile, ottobre e novembre). Il locale che ospita gli uffici e la commercializzazione 05.UFF richiede picchi di potenza in riscaldamento attorno ai 5000W e in raffrescamento prossimi ai 3000W. L'impianto è sostanzialmente sempre funzionante ad eccezione della prima metà di ottobre dove le temperature interne richiederebbero l'accensione dell'impianto ma la normativa nazionale per la zona E ne impedisce l'utilizzo. Il locale destinato al laboratorio 06.LAB richiede potenze inferiori per il riscaldamento rispetto gli altri locali (circa 2900W di picco) e per il raffrescamento (1500W di picco).



Risultati relativi alla soluzione AGR.nor

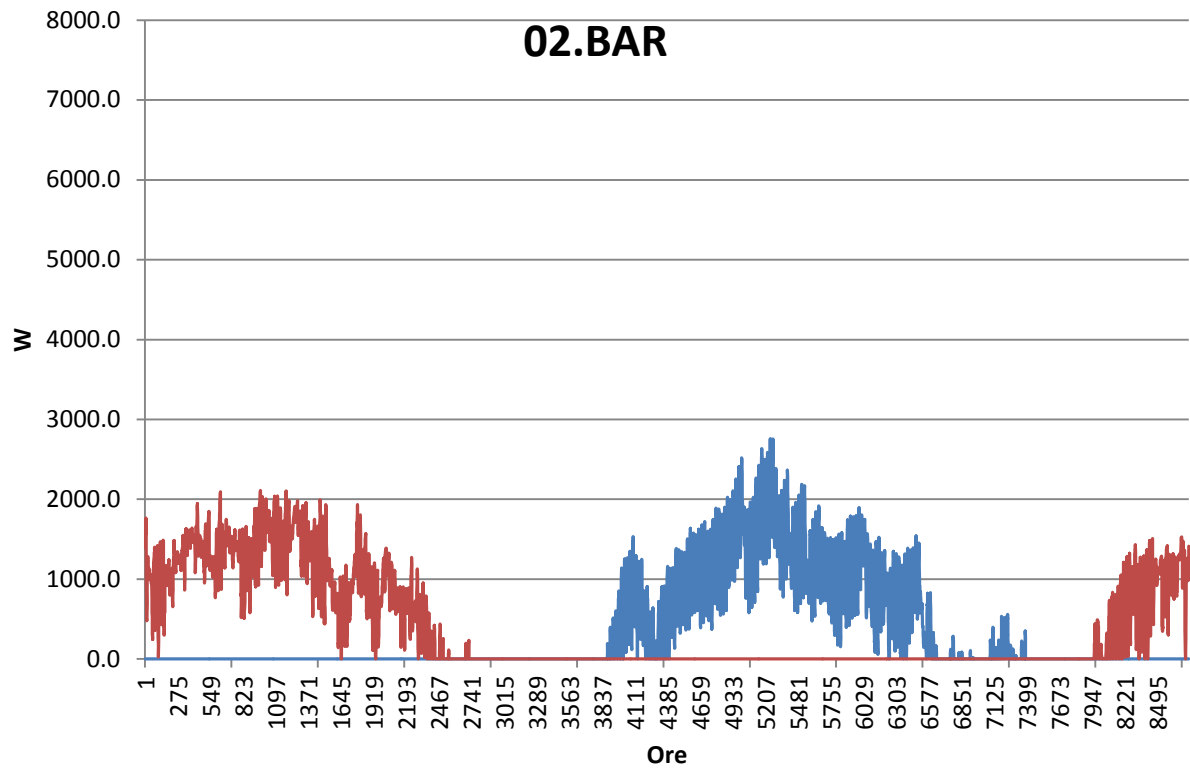


Figura 82 Potenze medie orarie nel locale 02.BAR

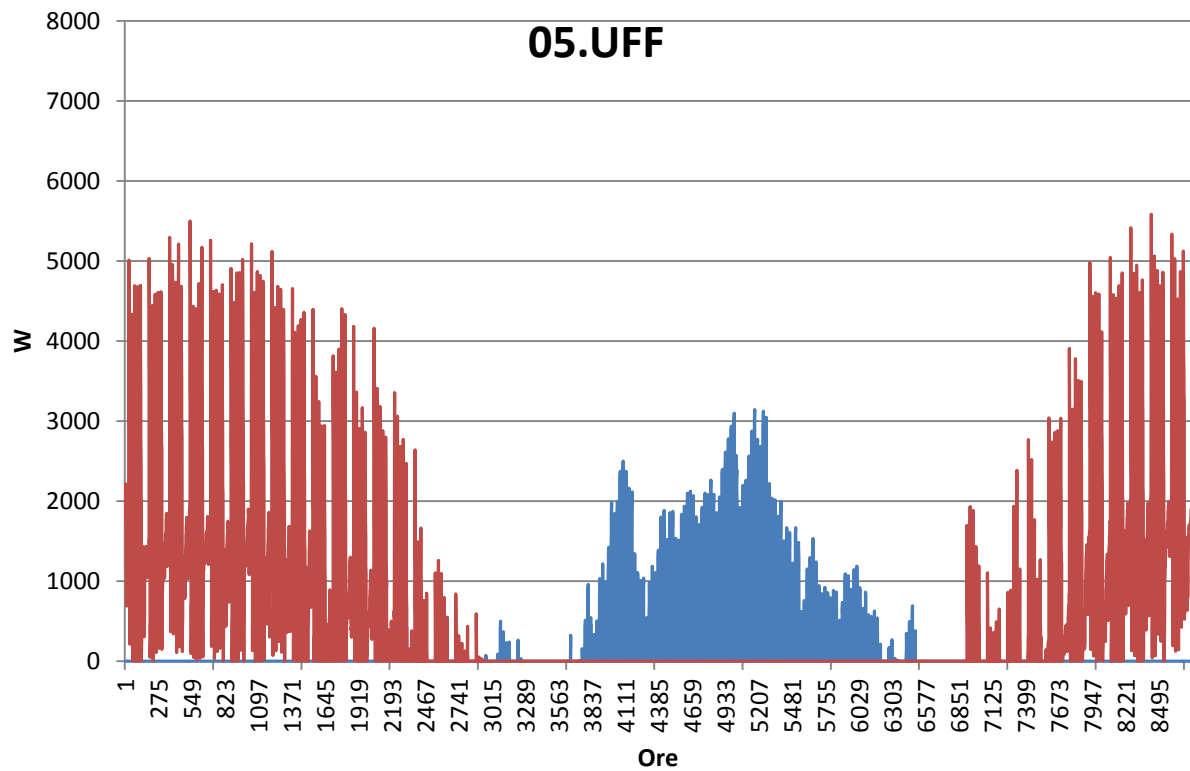


Figura 83 Potenze medie orarie nel locale 05.UFF

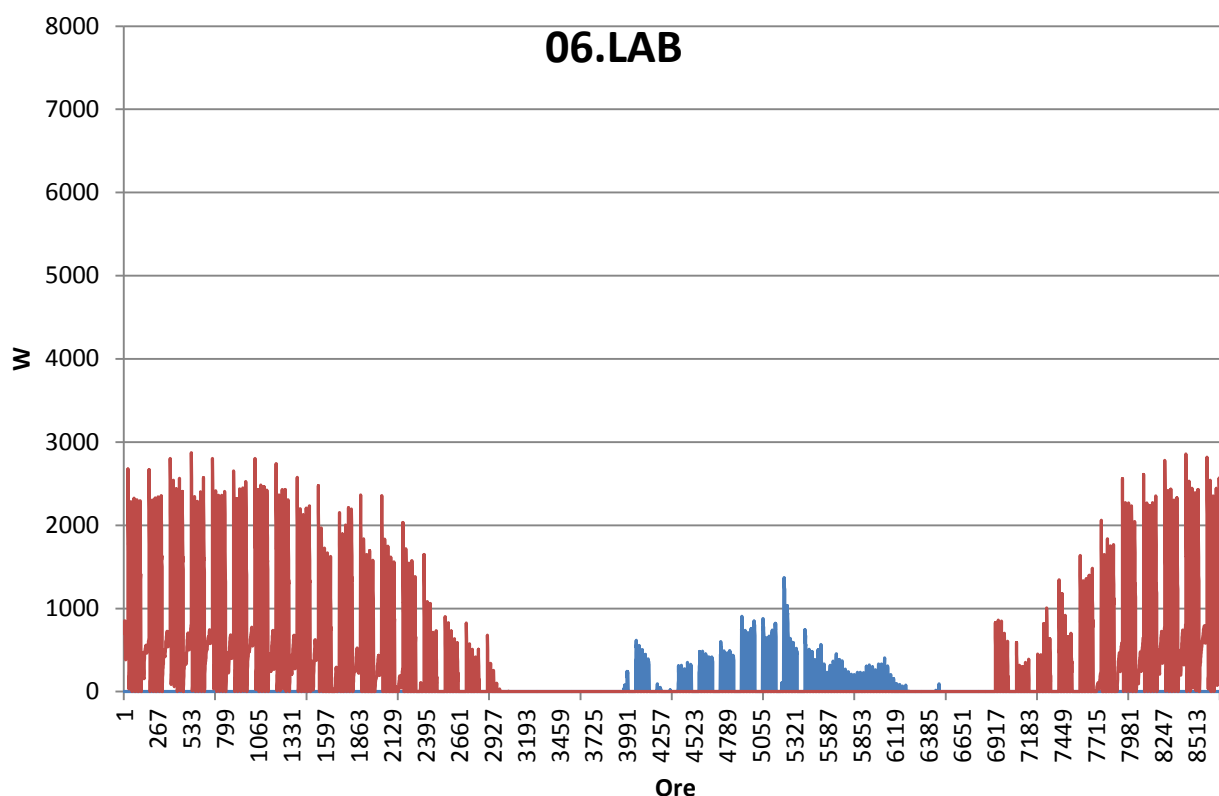


Figura 84 Potenze medie orarie nel locale 06.LAB

Il calcolo delle potenze e delle energie utilizzate, indica che nella barriera 02.BAR la potenza massima per il riscaldamento supera leggermente i 2000W mentre quella per il riscaldamento si assesta attorno ai 2000W con punte di 2500W circa. Gli uffici 05.UFF necessitano di potenze per il riscaldamento attorno ai 5000W e per il raffrescamento raramente superiori ai 3000W. Il locale destinato ai laboratori 06.LAB richiede potenze massime di 2500W per il riscaldamento e 1000W per il raffrescamento.

Rispetto alla soluzione precedente AGR.min, si notano gli effetti benefici dell'isolamento termico nel locale 02.BAR, l'unico imposto climatizzato nelle modellazioni, in cui sono stati modificati i valori di trasmittanza delle pareti, infatti, essendo un locale che per legge non necessita di riscaldamento, nelle soluzioni .min, esso è stato modellato assegnando alle pareti dei pacchetti murari adottati abitualmente nell'edilizia industriale, i quali presentano valori di trasmittanza superiori ai minimi imposti da normativa per i locali riscaldati. Nelle soluzioni .nor è stata invece assegnata una trasmittanza rispondente ai minimi normativi.

Fabbisogno specifico di energia

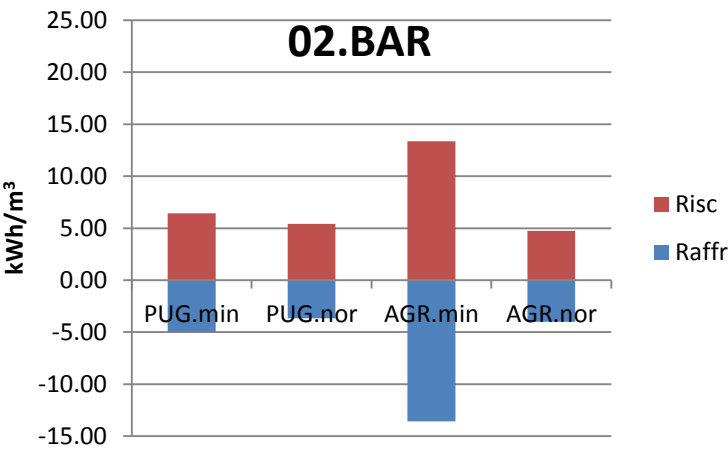


Figura 85 Energia specifica per la climatizzazione 02.BAR

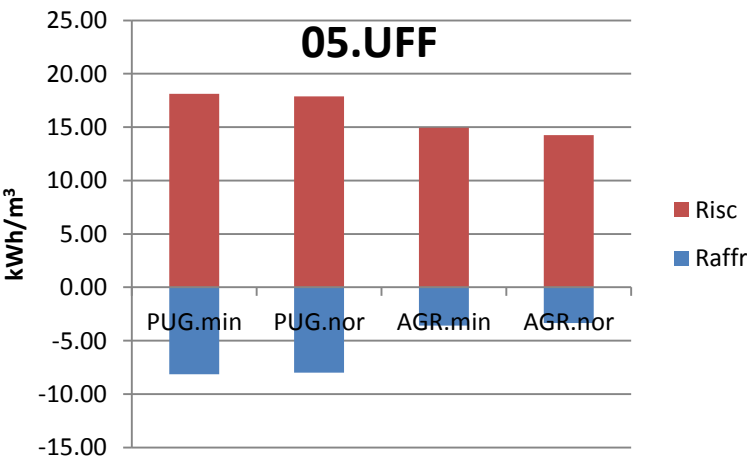


Figura 86 Energia specifica per la climatizzazione 05.UFF

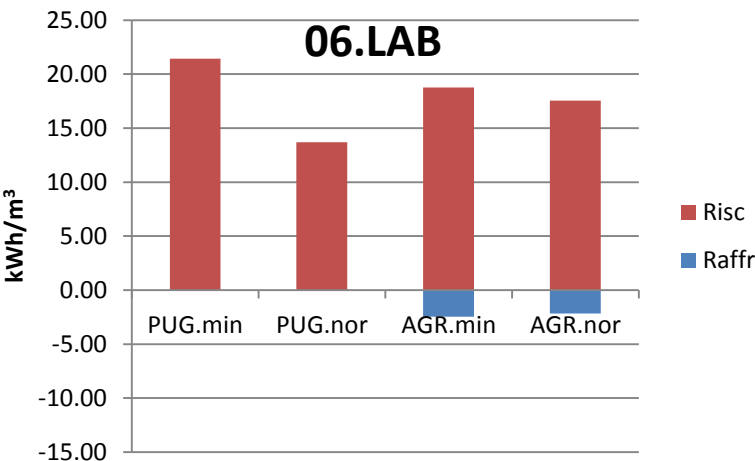


Figura 87 Energia specifica per la climatizzazione 06.LAB

Fabbisogno energetico totale

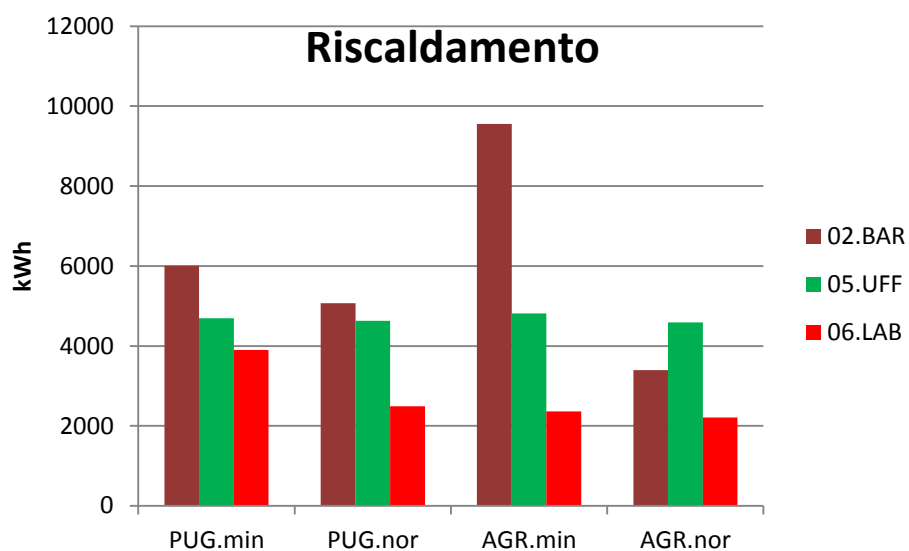


Figura 88 Energia totale richiesta per la climatizzazione: riscaldamento

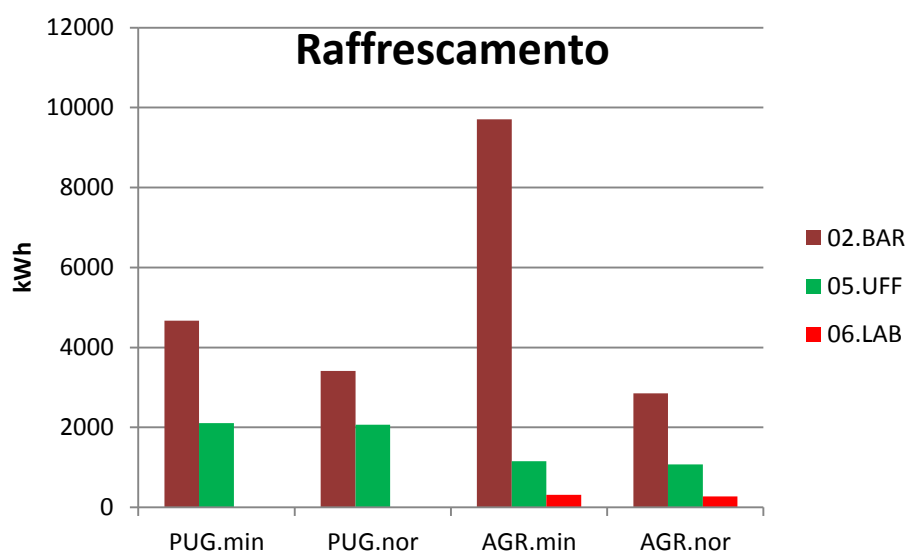


Figura 89 Energia totale richiesta per la climatizzazione: raffrescamento

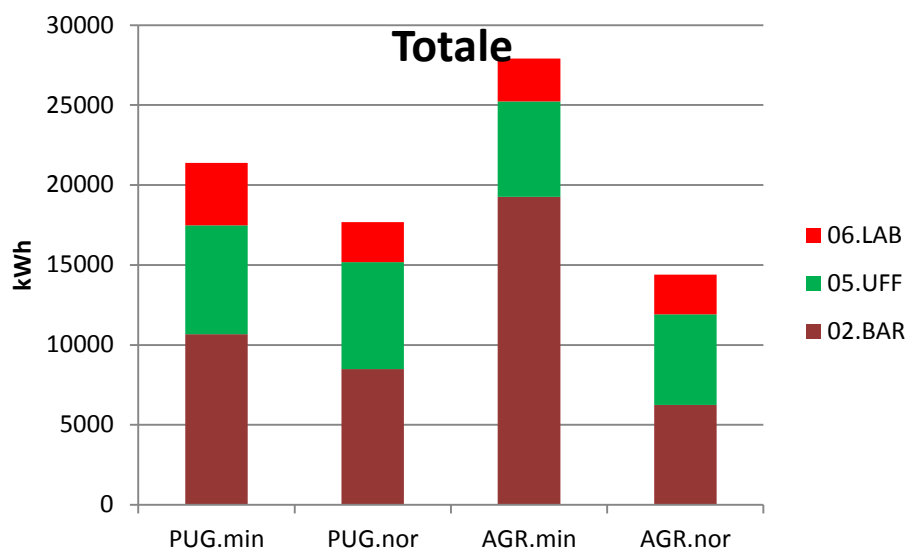


Figura 90 Energia per la climatizzazione. Dati complessivi

Tabella 12 Dati riassuntivi dei carichi termici espressi in kWh

	PUG.min	PUG.nor	AGR.min	AGR.nor
02.BAR	10678	8484	19257	6248
05.UFF	6801	6699	5966	5664
06.LAB	3912	2493	2674	2480
Totale	21390	17679	27899	14395

In questa sezione si sono confrontati i risultati ottenuti per i locali climatizzati nelle 4 soluzioni. Dalla Figura 85 alla Figura 87 sono rappresentate le energie riferite all'unità di volume [ $\text{kWh/m}^3$ ] per ogni stanza: in rosso l'energia necessaria al riscaldamento, in blu quella necessaria al raffrescamento. La Figura 88 e la Figura 89 mostrano invece i carichi termici totali [ $\text{kWh}$ ] necessari al mantenimento delle temperature impostate nei termostati come specificato nel Paragrafo 3.7.4 .

Per quanto riguarda il locale destinato all'invecchiamento 02.BAR, si nota anzitutto il sostanziale equilibrio fra la richiesta di carichi termici positivi e negativi e come le soluzioni interrato riducano notevolmente la richiesta energetica globale rispetto ad un locale non coibentato collocato fuori terra. L'aumento di isolamento da PUG.min a PUG.nor provoca una riduzione nella necessità del carico termico nell'ordine del 20% per il riscaldamento e del 35% per il raffrescamento. La soluzione AGR.min necessita di carichi termici doppi rispetto alle altre soluzioni sia in riscaldamento sia in raffrescamento. L'inserimento della coibentazione termica, con valori conformi alla normativa regionale per locali riscaldati (AGR.nor), garantisce prestazioni termiche molto simili a quelle ottenute per il locale seminterrato coibentato. Questo risultato potrebbe significare che l'isolamento termico proposto equivale, dal punto di vista termico, all'interramento. I valori limiti ottenuti possono essere riferiti a quelli proposti dalla classificazione energetica della Regione Emilia Romagna:  $8 \text{ kWh/m}^3\text{anno}$  per la classe A e  $16 \text{ kWh/m}^3\text{anno}$  per la classe B (vedi Paragrafo 2.2.3), i quali quindi possono essere utilizzati come termine di paragone, ricordando però che essi valgono per il solo riscaldamento, tengono conto dell'impianto termico e quindi del suo rendimento (che nelle simulazioni non sono considerati) e in questo locale in particolare le temperature non sono quelle considerate per il benessere umano ma per il comfort del vino (nel nostro caso da  $12^\circ\text{C}$  a  $18^\circ\text{C}$ ).

Il locale 05.UFF presenta, nelle quattro soluzioni, lo stesso pacchetto murario per le pareti perimetrali dovendo rispettare per legge i valori di trasmittanza imposti dalla legge regionale. Le differenze più sensibili in termini di prestazione energetica riguardano le modellazioni PUG rispetto alle modellazioni AGR (variabile inerente la presenza o meno di interramento), con AGR il 25% circa più performante di PUG. Si nota invece una differenza minima passando da .min a .nor (variabile di isolamento termico). È interessante notare come, anche a parità di destinazione e pacchetto murario, con superfici e volumi simili, i locali possono avere evidenti differenze di performance termica. L'energia necessaria per il riscaldamento è maggiore di quella per il raffrescamento (rapporto 3:1), dato in linea con l'area geografica.

Il locale 06.UFF è interrato nella soluzione PUG, questa soluzione annulla in sostanza la necessità di raffrescamento nella stanza. Nelle soluzioni AGR esso è collocato al piano terra, beneficia quindi di una protezione, in particolare all'irraggiamento, data dagli altri locali. Questa situazione potrebbe

essere la causa per la quale il locale necessita di molto più carico termico positivo (riscaldamento) rispetto al carico termico negativo (raffrescamento) con un rapporto di 5-6:1.

Anche in questo caso è visibile che, differenze che non riguardano le proprietà termiche delle pareti perimetrali quali orientamento e collocazione compositiva, possono incidere sensibilmente sulla prestazione termica di un locale.

Riportando i dati in termini complessivi, si nota che la soluzione AGR.min, ovvero la cantina totalmente fuori terra con isolamento termico da normativa solo nei locali riscaldati, ha il maggior dispendio energetico sia per il riscaldamento sia per il raffrescamento. Il locale 02.BAR, che presenta i valori energetici più bassi riferiti all'unità di volume, necessita del maggior contributo energetico a causa dell'elevata volumetria. Il locale 06.LAB, pur presentando valori specifici alti per il riscaldamento, ha l'incidenza minore nella richiesta di calore a causa del volume ridotto da climatizzare, trascurabile o addirittura nullo il suo contributo per la richiesta di raffrescamento. Nel complesso si vede che l'interramento ha un effetto benefico nelle prestazioni energetiche dei locali climatizzati, ma l'isolamento termico (con valori di trasmittanza dati dai minimi di legge) sembra avere un'incidenza maggiore. Infatti l'energia complessiva richiesta dall'edificio per la climatizzazione raggiunge i 27.000kWh per AGR.min, 21.000kWh per PUG.min, 17.500kWh per PUG.nor ed infine 14.000 kWh per AGR.nor.

#### **4.3.2. Potenze e carichi termici: climatizzazione nelle operazioni di vinificazione**

In questa sezione, si mostrano le energie e le potenze necessarie alle operazioni di vinificazione per mantenere uva e mosto alle temperature idonee dopo il conferimento e durante il processo di fermentazione. L'importanza di questa analisi deriva dal fatto che questi dati, in particolare le potenze massime, possono incidere significativamente sul dimensionamento dell'impianto di climatizzazione della cantina. Sebbene l'energia necessaria per la refrigerazione in fase di fermentazione dipenda in maggior parte dalla quantità di uva lavorata e, in maniera minore, dalla temperatura di fermentazione e dal grado zuccherino, il rilascio quotidiano di calore e quindi la potenza dell'impianto di refrigerazione, dipendono fortemente dal flusso di uve, ovvero dalla quantità di uva conferita quotidianamente e quindi dalla modalità di vendemmia.

Nel foglio di calcolo 1 è possibile inserire le dimensioni dei vigneti in ettari e la loro resa in massa riferita alla superficie. In una casella del foglio è richiesto il tipo di vendemmia. Nel caso si inserisca la modalità "manuale", il foglio richiede per ogni cultivar la data di inizio e la durata della vendemmia. Il foglio 3 elabora la quantità di uva conferita quotidianamente seguendo una distribuzione gaussiana descritta nel Paragrafo 3.4.3.

Nel caso di vendemmia meccanica si possono inserire le quantità giornaliere con un valore massimo determinato dalla capacità di vendemmia della macchina (ha/h) e dalla quantità massima lavorabile quotidianamente dall'azienda, valore collegato al numero e alla capacità delle presse presenti.

In questo lavoro i dati inseriti sono stati desunti dal registro delle vendemmie effettuate nell'azienda caso studio negli ultimi cinque anni. La sostanziale differenza tra i due tipi di vendemmia, riguarda la quantità di uva conferita quotidianamente. La vendemmiatrice semovente consente di concentrare i quantitativi conferiti mentre la vendemmia manuale risente molto del numero di operatori. In questo studio si è considerato un massimo di 10 operatori per ettaro. In questo modo il foglio è capace di tenere in considerazione due tipi di conferimento, uno graduale nel tempo (vendemmia manuale poca quantità in molti giorni) e uno concentrato in alcuni giorni (vendemmia meccanica quantità elevate in pochi giorni).

Considerando i soli aspetti relativi alla progettazione, le ripercussioni di queste scelte riguardano principalmente il numero di tini necessario durante la fase di fermentazione e la potenza dell'impianto di refrigerazione degli stessi.

Con riguardo ai dati energetici, i fogli 5 e 7 (vedi Paragrafi 3.4.5 e 3.4.7) elaborano le potenze medie orarie e quindi le energie relative a due refrigerazioni: la prima riguarda il raffrescamento dovuto alla differenza termica tra la temperatura di campo e quella desiderata per la fermentazione (dati inseribili nei fogli 1, 2 e 3) la seconda riguarda il raffrescamento del mosto durante la fermentazione. In questo calcolo è stata inserita una casella di controllo che avvisa quando la potenza necessaria al raffrescamento dell'uva supera quella relativa al raffrescamento per la fermentazione alcolica. Per ovviare a questa situazione si possono modificare gli orari di vendemmia per ridurre la temperatura di campo oppure è possibile aumentare la durata del raffrescamento. È importante notare che la temperatura di campo dipende dalla temperatura esterna la quale è una variante non prevedibile in fase di progettazione. Quindi, in questo studio, ai fini del dimensionamento dell'impianto, si considererà il carico termico massimo ottenibile dalle diverse modalità di vendemmia adottata.



# Vendemmia manuale

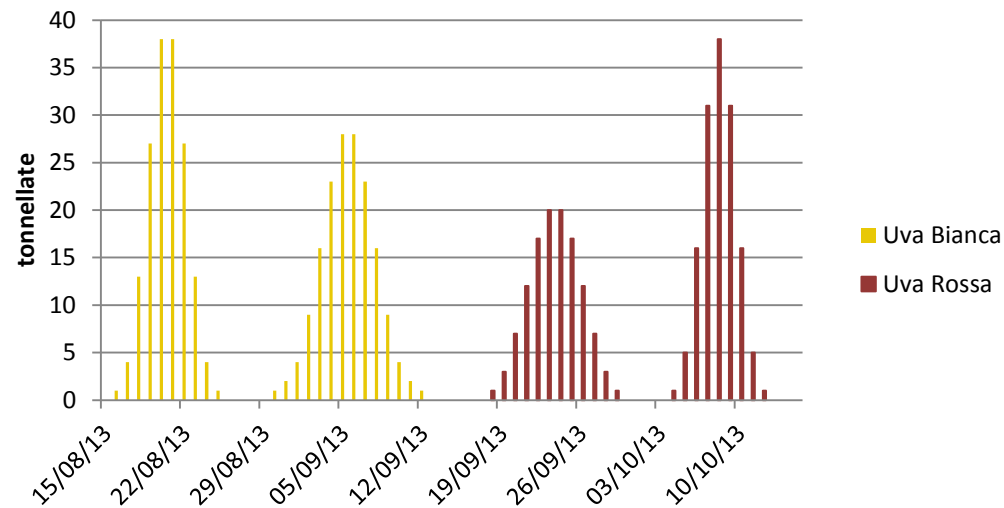


Figura 91 Conferimenti quotidiani

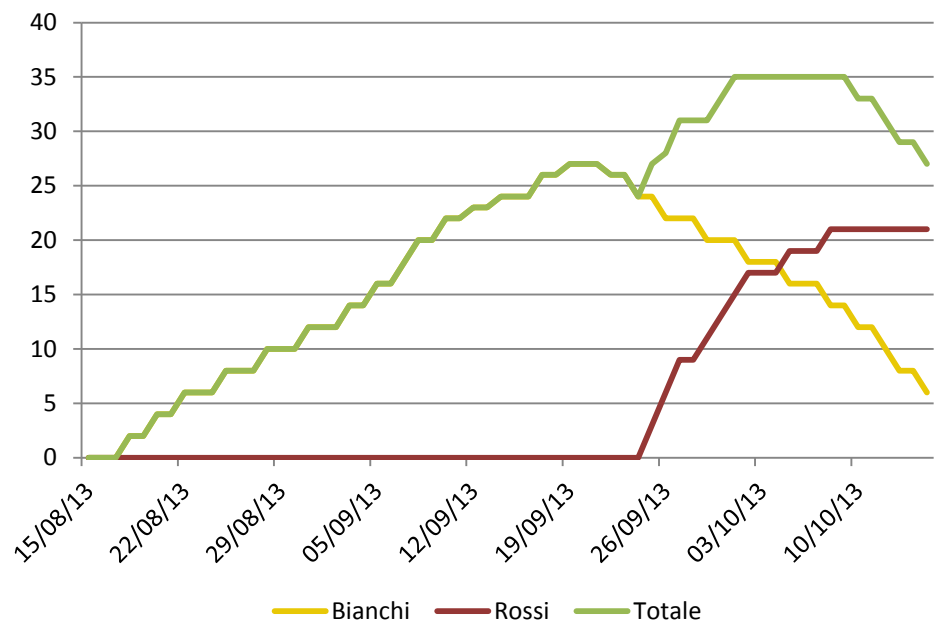


Figura 92 Numero dei vasi vinari utilizzati durante la fermentazione

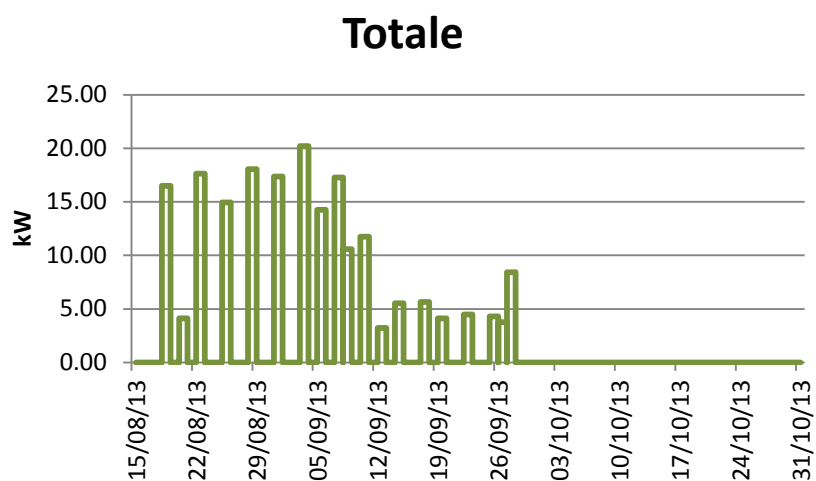


Figura 93 Potenza media giornaliera per il raffreddamento delle uve

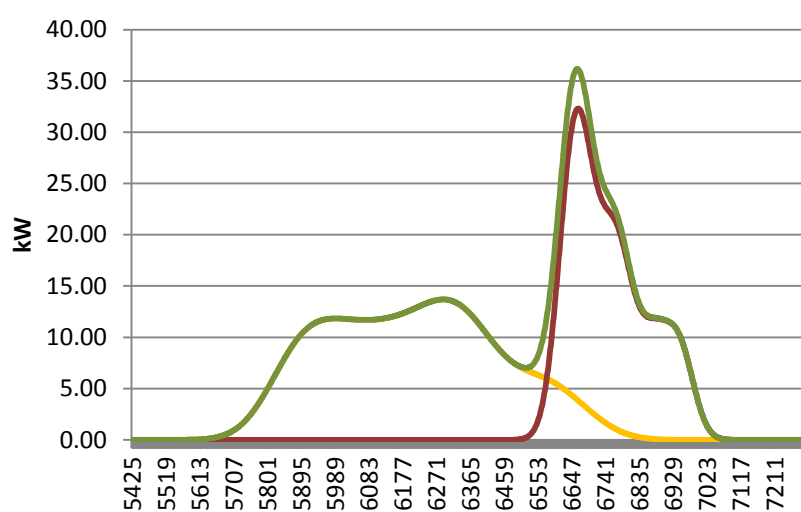


Figura 94 Potenza media oraria per il raffreddamento durante la fermentazione. Nell'asse x sono riportate le ore dell'anno

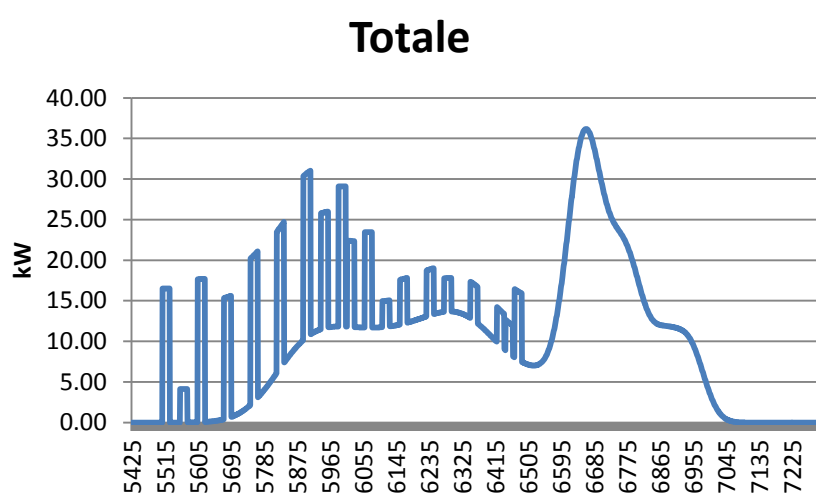


Figura 95 Potenza media oraria totale per il raffreddamento dei fermentini Nell'asse x sono riportate le ore dell'anno

**Vendemmia meccanica**

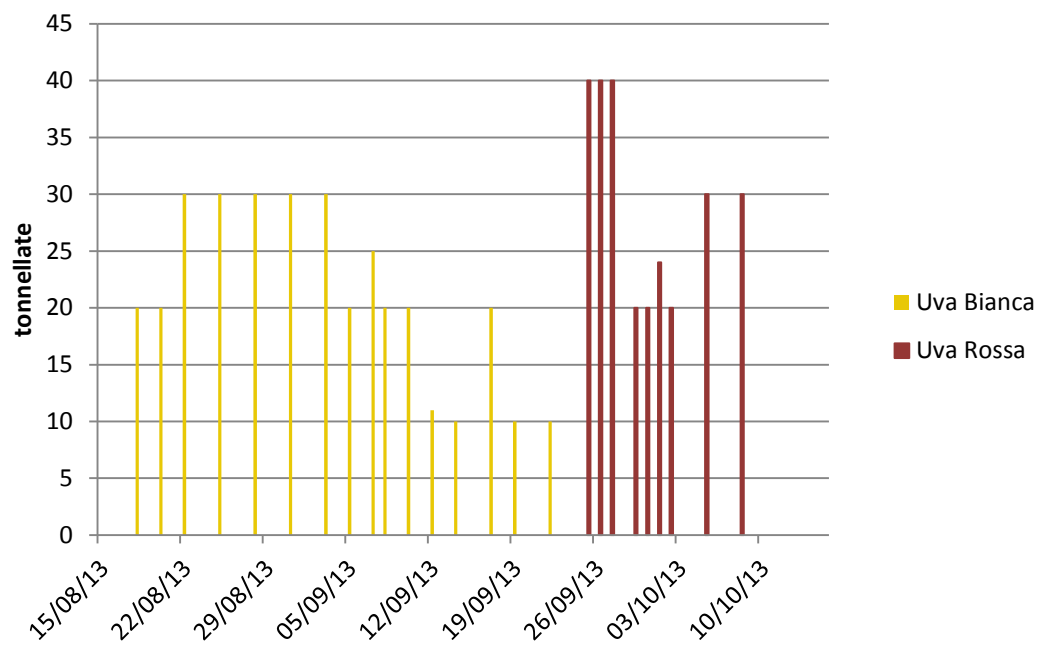


Figura 96 Conferimenti quotidiani

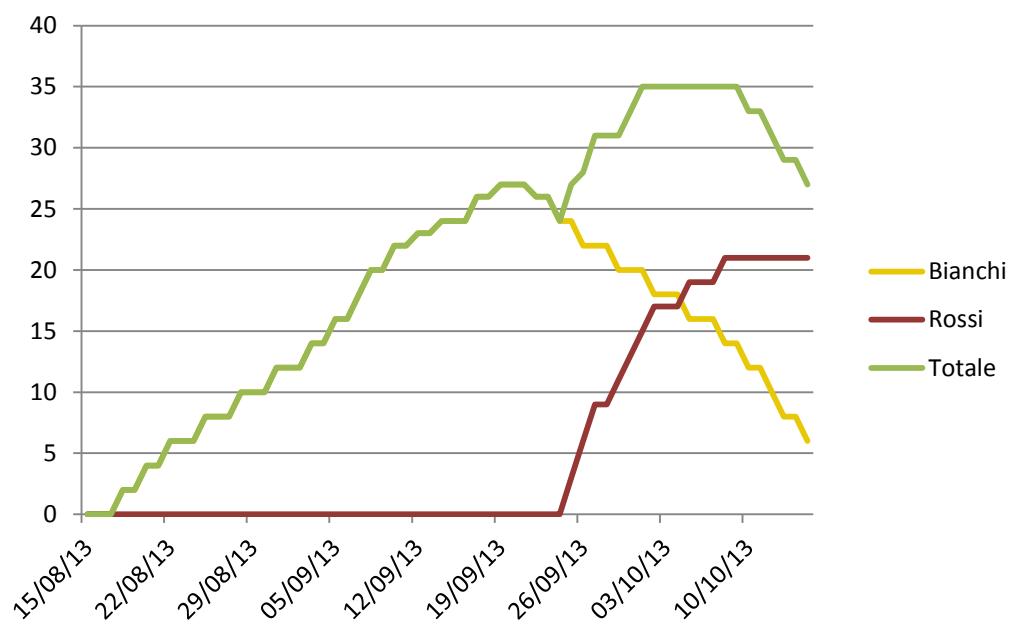


Figura 97 Numero dei vasi vinari utilizzati durante la fermentazione

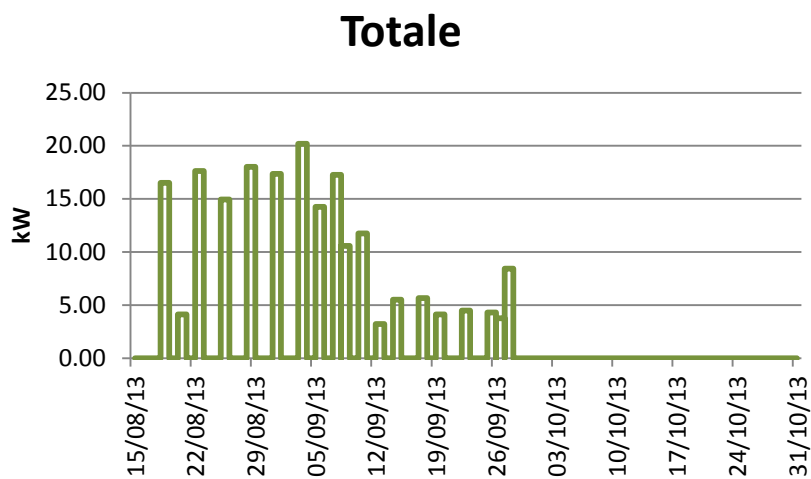


Figura 98 Potenza media giornaliera per il raffreddamento delle uve

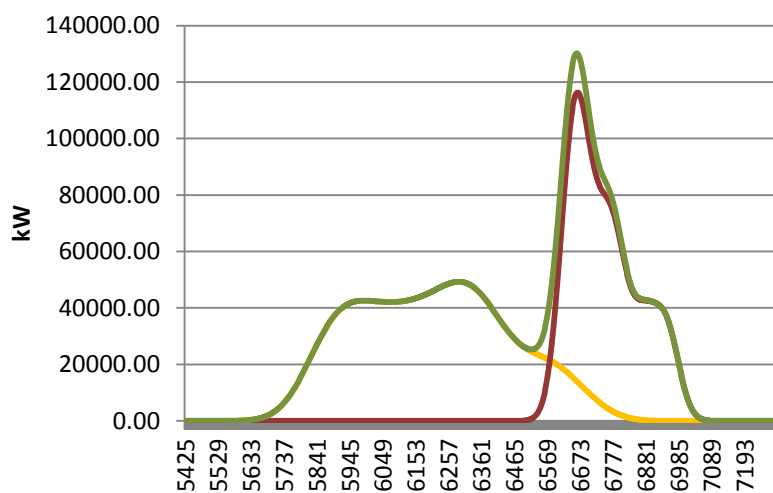


Figura 99 Potenza media oraria per il raffreddamento durante la fermentazione

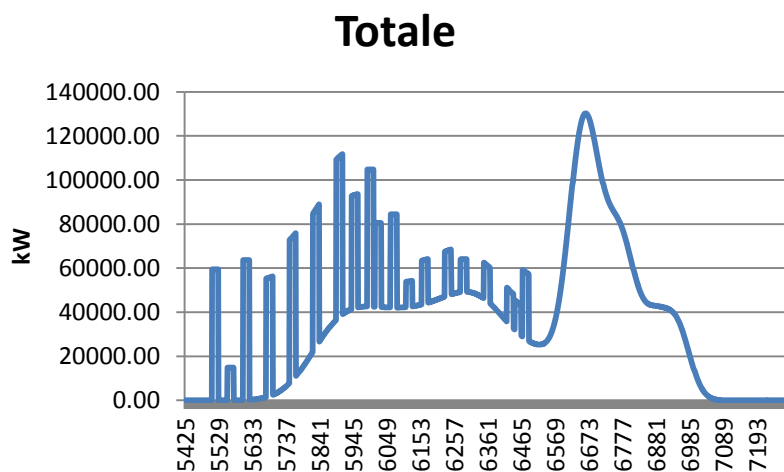


Figura 100 Potenza media oraria totale

Tabella 13 Riassunto dati inerenti potenze e carichi termici durante la vinificazione

		Raffrescamento uve			Fermentazione			Riferimento
		Bianchi	Rossi	Max	Bianchi	Rossi	Max	Max
Manuale	kW	22.34	2.96	22.34	20.57	30.70	30.70	38.88
	kWh	3997	210	4207	9189	7561	16750	20957
Meccanica	kW	20.19	8.44	20.19	13.69	32.30	36.17	36.17
	kWh	3714	330	4044	9189	7561	16750	20794

L'inizio dei processi di fermentazione sono legati ai conferimenti giornalieri. Quindi la vendemmia manuale, garantendo quantità limitate di uva conferita quotidianamente, permette che la fermentazione delle uve non si concentri in un breve lasso di tempo ma in un periodo che coinvolge tutta la durata della vendemmia. Questa soluzione, sebbene non influenzi il calore totale rilasciato, ne modifica i massimi giornalieri e quindi i picchi di potenza richiesti per la climatizzazione dei fermentini. Si ricorda a tal proposito che per questo studio si è impostata come temperatura per la vinificazione in bianco 15°C e per la vinificazione in rosso 25°C. È possibile notare infatti che dopo il 15 settembre, con il calare delle temperature esterne e con l'inizio delle vinificazioni in rosso, (vedi Figura 93) non è quasi più necessario l'apporto di un impianto per mantenere in temperatura il contenuto dei fermentini. La Figura 94 mostra invece come il graduale conferimento delle uve non crei sovrapposizioni di carichi termici che aumentino la potenza richiesta dall'impianto rispetto ai picchi di ogni singolo cultivar. Il dato totale (vedi Figura 95) evidenzia che il picco massimo inerente la potenza (38 kW) lo si ottiene verso fine agosto quando la temperatura esterna è ancora alta, la vendemmia è in pieno svolgimento e sono iniziate le prime fermentazioni. Con il passare dei giorni, nonostante il maggior carico termico dovuto alla fermentazione raggiunga il massimo, le potenze non superano i 31 kW.

La vendemmia meccanica, al contrario di quella manuale, consente conferimenti giornalieri di elevate quantità di uva il cui limite massimo, come spesso accade nelle aziende vitivinicole, è rappresentato dalla capacità di lavorazione delle presse. Pertanto picchi giornalieri di 30-40 tonnellate di uva conferita possono essere molto frequenti. Con questa modalità di conferimento la potenza massima necessaria per il raffrescamento supera di poco i 20 kW (vedi Figura 98), valore inferiore a quello richiesto dalla vendemmia manuale. L'energia totale invece è decisamente più alta ma questo è un fatto casuale in quanto dipende dalla temperatura nelle giornate di conferimento (in questo studio, per uniformità, si è impostato che l'uva venisse vendemmiata al medesimo orario per ogni tipo di vendemmia). La potenza massima richiesta per la fase di fermentazione è di circa 35 kWh (vedi Figura 99), valore di circa 5kW superiore al valore ottenuto con la vendemmia manuale. Sommando i valori ottenuti dalle due tipologie di raffrescamento, ossia quella relativa al

raffrescamento delle uve e quella relativa alla fermentazione, questo valore resta il più elevato e pertanto rappresenta la potenza massima da tenere in considerazione in fasi di progettazione dell'impianto.

In questo studio, considerando che i dati relativi al raffrescamento delle uve dipendono dalla temperatura esterna (dato non prevedibile) e trattandosi del dimensionamento di un impianto, si è deciso di considerare la situazione più cautelativa, quindi si sono presi a riferimento i dati ottenuti con la vendemmia manuale sia per le potenze sia per i carichi termici, ottenendo in questo modo i dati energetici da utilizzare per il dimensionamento degli impianti.

In questa configurazione la potenza massima raggiunge i 39 kW e il carico termico da asportare è di 21000 kWh, come descritto in Tabella 13 e Figura 100. La Tabella 13 in particolare, mostra i risultati inerenti potenze e carichi termici durante il periodo di vinificazione. Nelle ultime due colonne sono riportati i valori da considerarsi a riferimento per il dimensionamento degli impianti ovvero le potenze massima espresse in kW e le energie totali espresse in kWh.

#### **4.3.3. Considerazioni sul dimensionamento dell'impianto termico**

In questa sezione, per ognuna delle quattro soluzioni, sono riportate le potenze medie orarie necessarie per climatizzazione e operazioni di raffrescamento per la vinificazione. Anche in questa sezione i grafici mostrano in ascissa le ore dell'anno 2013, in ordinata l'energia media oraria espressa in kW necessaria alla climatizzazione (vedi dalla Figura 101 alla Figura 104). Tutti i dati sono riportati in valore assoluto, il riscaldamento è raffigurato con una linea di colore rosso, il raffrescamento con una linea di colore blu. In questi grafici non vi è distinzione fra climatizzazione degli ambienti e dei vasi vinari. Si ricorda che i calcoli inerenti il raffrescamento dei fermentini, sono indipendenti dalle scelte progettuali della cantina, pertanto in questa sezione, dovendo determinare il dimensionamento dell'impianto, si è considerata la situazione più sfavorevole dal punto di vista energetico ovvero quella conseguente la vendemmia manuale, come si evince dal paragrafo precedente.

**PUG.min**

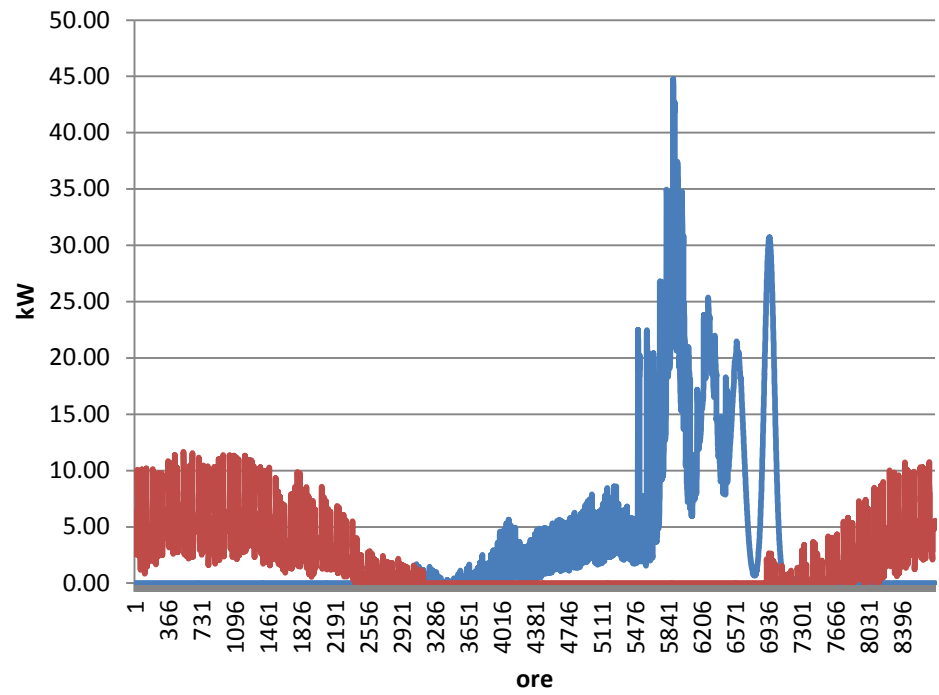


Figura 101

**PUG.nor**

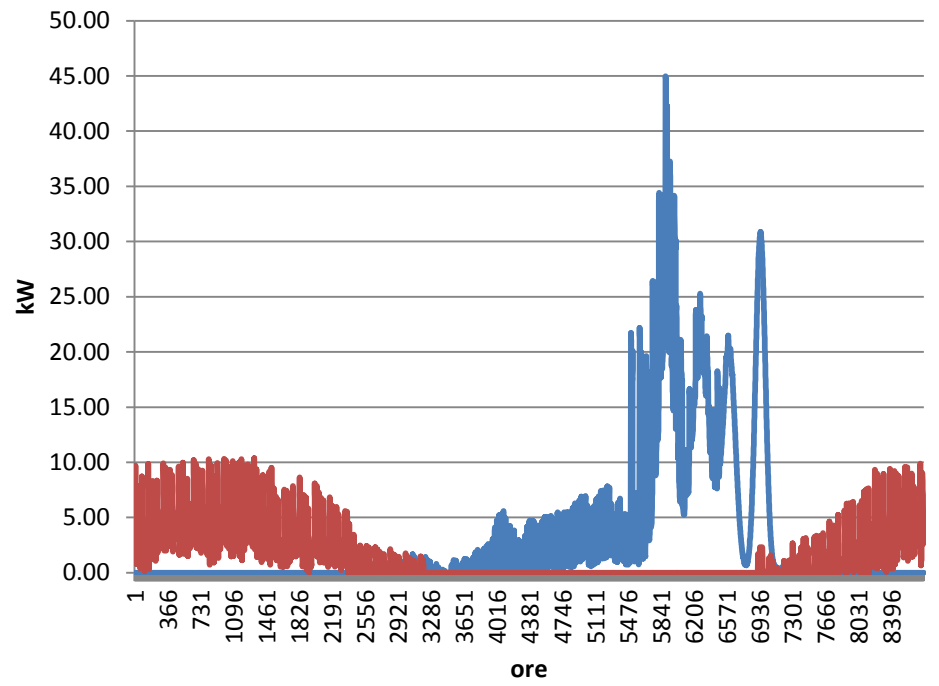


Figura 102

**AGR.min**

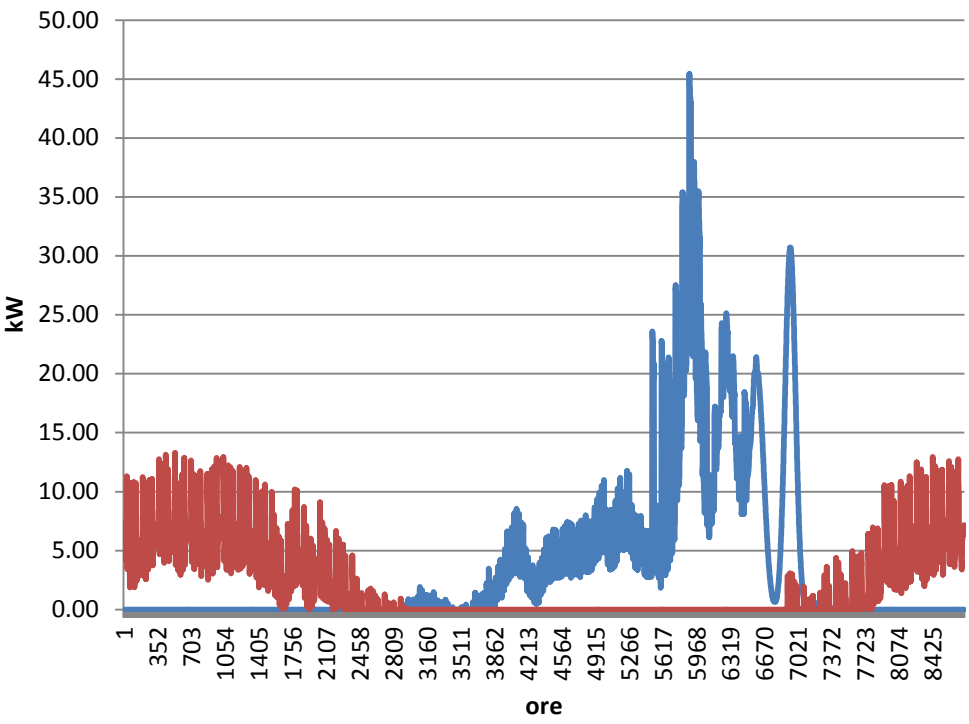


Figura 103

**AGR.nor**

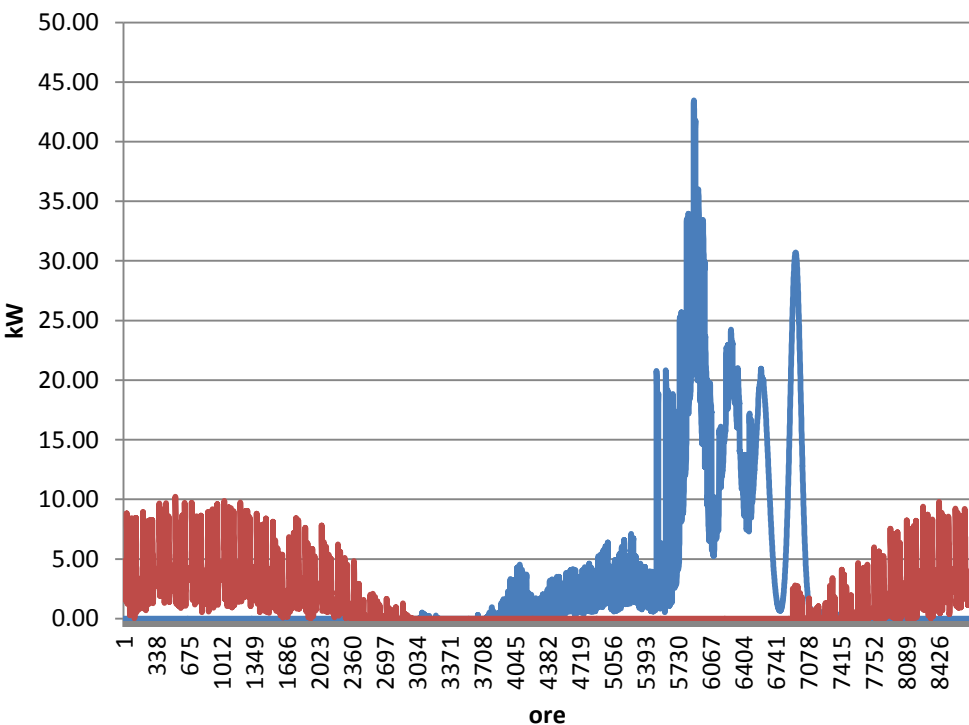


Figura 104



Tabella 14 Dati riassuntivi potenze e carichi termici nelle 4 soluzioni

		Riscaldamento	Raffrescamento	Complessivo
PUG.min	Potenza [kW]	11.68	44.76	44.76
	Energia [kWh]	14603	27583	42186
PUG.nor	Potenza [kW]	10.38	44.98	44.98
	Energia [kWh]	12195	26280	37475
AGR.min	Potenza [kW]	13.28	45.42	45.42
	Energia [kWh]	16728	31967	48695
AGR.nor	Potenza [kW]	10.21	43.46	43.46
	Energia [kWh]	10198	24993	35191

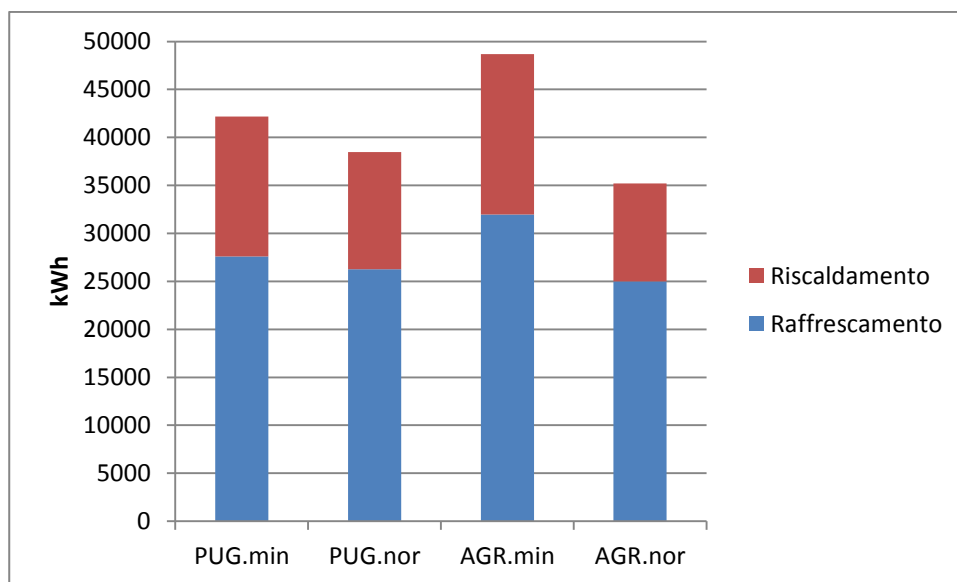


Figura 105 Grafico riassuntivo carichi termici nelle 4 soluzioni

I grafici della 4 soluzioni, mostrano andamenti molto simili. Nonostante le necessità termiche per la climatizzazione degli ambienti e per le operazioni di vinificazione siano riportate nei grafici senza distinzione, il loro contributo è facilmente individuabile. Durante il periodo di vinificazione si possono notare le potenze richieste all'impianto le quali hanno valori fino a 5 volte più grandi rispetto le potenze per la climatizzazione. La potenza massima per il riscaldamento varia da 10.21 kW di AGR.nor a 13.28kW di AGR.min, e le energie da 10198kWh a 16728kWh. Per il raffrescamento le potenze variano da 43.46kW di AGR.nor a 45.42 di AGR.min. e le energie da 24993kWh a 31967kWh. In tutte le soluzioni le potenze per il riscaldamento sono circa un quarto di quelle per il raffrescamento mentre le energie la metà (vedi Tabella 14). ricordando che per le sole operazioni di vinificazione, la potenza richiesta è di 39kW e l'energia di 21000kWh, si vede come

le operazioni relative la vinificazione diano il maggior contributo (90% circa) per il dimensionamento della potenza dell'impianto e rappresentino circa il 50%-60% dei consumi totali.

Analizzando i dati proposti dalla Figura 105 riguardante i carichi termici nelle 4 soluzioni, si può notare che anche in questo caso la soluzione più performante è AGR.nor, seguita da PUG.nor, PUG.min ed infine AGR.min. le due soluzioni più performanti sono quelle quindi che dispongono dell'isolamento termico come da normativa, in tutto l'edificio. La soluzione più performante, AGR.nor, permette un risparmio in termini di energia del 28% rispetto alla soluzione meno performante, AGR.min. per quanto riguarda la potenza dell'impianto è possibile notare che tutte le soluzioni indagate presentano una potenza di picco (quella quindi su cui dimensionare l'impianto) molto simile.

Nel complesso si può asserire che nessuna delle varianti proposte nelle 4 soluzioni indagate ha significativi effetti positivi sulla potenza dell'impianto, al contrario l'adozione di strategie di isolamento termico dell'involucro edilizio può portare ad notevole risparmio in termini di fabbisogno energetico.

## 5. Conclusioni

Le fasi fondamentali dei tre anni di ricerca possono essere sintetizzate come segue:

- impostazione e conduzione di una campagna sperimentale di monitoraggio termico di diversi locali destinati a differenti fasi del processo della produzione e commercializzazione del vino, su casi studio;
- definizione di criteri di modellazione edilizia e di simulazione energetica per le cantine, con approfondimenti specifici per gli edifici interrati od i volumi interrati nell'ambito di edifici parzialmente interrati;
- messa a punto e validazione di un programma di calcolo di supporto alla progettazione integrata delle cantine;
- implementazione del programma sviluppato attraverso la metaprogettazione applicata ad un caso studio aziendale reale, nel quale sono state concepite soluzioni edilizie alternative, derivanti dalla combinazione di diversi livelli di isolamento termico dell'involucro e dalla presenza o meno di locali interrati;
- analisi e comparazione delle prestazioni energetiche e termiche delle soluzioni ipotizzate.

I risultati ottenuti al termine di questo percorso confermano l'influenza che le scelte aziendali e le soluzioni progettuali indagate possono avere sul fabbisogno energetico della cantina e sull'andamento termico all'interno dei locali non climatizzati. Tra i risultati ottenuti si evidenzia come un adeguato isolamento termico possa portare a prestazioni energetiche pari a quelle ottenibili con l'interramento parziale dell'edificio. Inoltre, a parità di altre condizioni progettuali, la collocazione di un locale ad un livello più alto o più basso dell'edificio ha forti conseguenze nell'andamento termico ambientale del locale durante l'anno. Questi risultati sono stati ottenuti utilizzando uno strumento di calcolo capace di quantificare gli effetti di tutte le principali variabili indagate, attraverso l'utilizzo di due indicatori, uno pensato per i locali climatizzati e uno per i locali non climatizzati. Il procedimento proposto consente di effettuare una valutazione integrata degli effetti di ogni variabile o scelta indagata in termini energetici. Lo strumento di calcolo può quindi essere utile per individuare i punti critici della progettazione e per valutare i relativi rimedi in fase di progettazione, quantificando l'apporto in termini di efficienza energetica dato dalle scelte progettuali effettuate in relazione alle diverse discipline coinvolte.

Il primo aspetto che si vuole evidenziare tra i portati innovativi della ricerca condotta è rappresentato dalla possibilità, fornita dal programma di calcolo messo a punto, di valutare la

compensazione delle criticità riscontrate nel modello indagato, agendo su una o più variabili progettuali e sulla loro reciproca interazione. I risultati mostrano, ad esempio, come il dato relativo ai picchi di potenza assorbita dall'impianto di raffrescamento, necessario per il dimensionamento dell'impianto stesso, possa essere modificato dalla scelta aziendale inerente la modalità di vendemmia e dalle relative modalità e tempestive di conferimento delle uve, dall'isolamento termico dei locali climatizzati o da una combinazione di entrambi.

Un altro aspetto ritenuto importante riguarda la scalabilità ed estensibilità del programma di calcolo sviluppato, ovvero la possibilità di aumentare il numero delle variabili da esso indagate per la valutazione della performance energetica dell'edificio. Lo strumento di supporto alla progettazione, infatti, è stato concepito come modulare e scalabile, ed implementato attraverso un foglio di calcolo organizzato su più schede. Una delle ragioni per cui si è scelto questo sistema di gestione ed elaborazione dei dati è la capacità di poter gestire valori provenienti da diversi software con un unico strumento, garantendo la possibilità di poter inserire in futuro nuove variabili da analizzare aggiungendo ed implementando una o più schede dedicate. A titolo esemplificativo si cita uno degli sviluppi futuri già previsti per la ricerca, ovvero l'integrazione degli aspetti relativi alla scelta dell'impianto di climatizzazione. A tal fine si prece di creare una scheda dedicata nella quale convergeranno i dati utili al dimensionamento, si inseriranno quelli relativi alle variabili dell'impianto e si scriveranno le equazioni per elaborare i dati. I risultati ottenuti potrebbero diventare successivamente dati di input per ulteriori processi, come ad esempio l'installazione di pannelli solari o fotovoltaici, secondo la logica del procedimento a cascata descritto.

Ricerche accurate hanno preceduto sia la realizzazione del programma di calcolo sia la modellazione energetica delle soluzioni progettuali indagate; al contempo ogniqualvolta possibile sono state condotte una calibrazione ed una validazione dei risultati ottenuti su situazioni reali, per quanto attiene, tra l'altro, agli esiti della modellazione dei locali interrati e a quelli dei calcoli relativi alle potenze di picco richieste. Infatti, parte fondamentale di questa ricerca è stata la continua validazione e calibrazione del programma di calcolo e dei modelli tramite esso sviluppati con dati reali provenienti da esperienze condotte o da altri studi. Per questa ragione, parallelamente allo sviluppo dello strumento, la ricerca ha previsto continui confronti e calibrazioni finalizzati ad aumentare l'affidabilità dello strumento a supporto della progettazione. A questo proposito è stata fondamentale la collaborazione con l'Azienda Branchini, che ha permesso di monitorare dal punto di vista termico, igrometrico, energetico ed idrico, un caso reale significativo per gli obiettivi della ricerca.

Altrettanto importante è stato il periodo di ricerca svolto presso il dipartimento di Viticulture ed Enology nella University of California Davis (USA), il quale ha permesso di reperire valori utili alle

calibrazioni ed alle validazioni: dai dati impiantistici ed enologici fino ai valori energetici e termici monitorati sul Jesse Jackson Building, analizzato tramite modellazione energetica in regime dinamico.

La ricerca effettuata durante questi tre anni di dottorato ha permesso di produrre due pubblicazioni su riviste indicizzate nelle principali banche dati internazionali, fra cui Web of Science e Scopus. Le due pubblicazioni costituiscono l'Allegato A di questa tesi. Nello specifico, l'Allegato A.1, parte integrante di questa tesi, riporta gli esiti di uno studio inerente la definizione di un metodo per la validazione delle modellazioni energetiche di cantine interrato basato su una calibrazione sperimentale, esiti pubblicati dalla rivista *Energy and Buildings*. L'Allegato A.2 riguarda gli esiti relativi alla valutazione delle prestazioni termiche delle cantine per una progettazione orientata all'efficienza energetica, riportati in un articolo scientifico pubblicato da *Transactions of the ASABE*. Questo lavoro propone, tra gli altri risultati, una prima valutazione tecnico-economica di alcune variabili progettuali per una cantina vitivinicola di dimensioni medio-piccole, ed anticipa in parte uno degli sviluppi futuri della ricerca, ovvero le analisi sul periodo di ritorno economico delle soluzioni ipotizzate. Per questa finalità si prevede di elaborare un modello ad hoc per il computo metrico estimativo e di integrarne l'articolazione inserendo una nuova scheda dedicata nello strumento di supporto alla progettazione. Inoltre una ulteriore implementazione del programma di calcolo è quella che prevede l'integrazione di una scheda per la gestione completa degli impianti, al fine di ottenere dati sui costi di gestione della produzione potendo realizzare un'analisi di payback.

Il programma di calcolo sviluppato, anche prendendo in considerazione l'apporto di fonti di energia rinnovabili, si dimostra uno strumento di fondamentale importanza per la realizzazione di strumenti di certificazione dei processi produttivi. E' infatti possibile convertire gli esiti quantitativi delle elaborazioni restituite in indicatori sintetici semplificati di più semplice utilizzo ed immediata comprensione relativi alla impronta energetica della produzione (quali, solo a titolo di esempio, il carico energetico per unità di volume di vino prodotto), fondamentali per la messa a punto di eventuali marchi connessi a politiche di certificazione volte a qualificare le aziende del settore attraverso la trasparenza nei confronti del consumatore circa la sostenibilità energetica della propria produzione, e dunque a fornire maggiore consapevolezza al momento dell'acquisto al consumatore stesso.

## 6. Bibliografia

- Alberti, Leon Battista. 1565. *L Architettura Tradotta in Lingua Fiorentina Da Cosimo Bartoli (The Architecture Translated by Cosimo Bartoli)*. Venezia: Franceschi Franceschi Sanese.
- Autodesk. 2013. "Ecotect." <http://www.autodesk.it/adsk/servlet/pc/index?id=15078641&siteID=457036>.
- Ayuga, F. 1999. "Wine Processing." In *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*, ASAE, 419–446. St. Joseph.
- Barbaresi, Alberto, Daniele Torreggiani, Stefano Benni, and Patrizia Tassinari. 2014. "Underground Cellar Thermal Simulation: Definition of a Method for Modelling Performance Assessment Based on Experimental Calibration." *Energy & Buildings*. doi:10.1016/j.enbuild.2014.03.008.
- Benni, Stefano, Daniele Torreggiani, Alberto Barbaresi, and Patrizia Tassinari. 2013. "Thermal Performance Assessment for Energy-Efficient Design of Farm Wineries." *Transactions of the ASABE* 56 (1965) (December 18): 1483–1491. doi:10.13031/trans.56.10259.
- Benni, Stefano, Daniele Torreggiani, Valentina Corzani, F Cuttin, Patrizia Tassinari, and Sergio Galassi. 2008. "Wine-Growing and Producing Farm Buildings: Meta-Design Analysis for the Definition of Spatial Layouts." In *38th International Symposium on Agricultural Engineering*, 2:201–210. Opatija (HR).
- Bondiac, Enrique. 1953. *Elaboracion de Vinos. Vinificacion Moderna*. Buenos Aires: America Tecnica.
- Casamonti, M., and V. Pavan. 2004. *Cantine. Architetture 1990-2005*. Federico M. Milano.
- Christaki, T, and C Tzia. 2002. "Quality and Safety Assurance in Winemaking." *Food Control* 13 (8): 503–517.
- Commonwealth of Australia. 2003. *A Guide to Energy Efficiency Innovation in Australian Wineries*. Goanna Pri. Cessnock.
- De Rosa, T. 1988. *Tecnologia Del Vino Tinto*. Mundi-Pren. Madrid.
- Di Giorgio Martini, Francesco. 1967. *Trattati Di Architettura, Ingegneria E Arte Militare (Treatise on Architecture, Engineering and Art of War)*. Milano: Il Polifilo.
- European Commission. 2007. "Amethyst Project." [http://eaci-projects.eu/iee/page/Page.jsp?op=project\\_detail&prid=1432](http://eaci-projects.eu/iee/page/Page.jsp?op=project_detail&prid=1432).
- European Commission. 2010. "Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings". Brussels.
- Facini, Osvaldo, Teodoro Georgiadis, M Nardino, F Rossi, G Maracchi, and A Motisi. 2007. "Il Contributo Degli Impianti Da Frutto All ' Assorbimento Della CO 2 Atmosferica." In *Clima E Cambiamenti Climatici: Le Attività Di Ricerca Del CNR*, 665–668.

- Failla, A., G. Tomaselli, and L. Strano. 2008. "The Definition of Planning Criteria for Safe Workplaces in Wineries." In *Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-Food Systems*. Ragusa.
- Fichera, C.R., G. Tomaselli, and S. Di Fazio. 1995. "La Metaprogettazione Edilizia per L'industria Agraria. Note Di Metodo." *Rivista Di Ingegneria Agraria* 18.
- Hidalgo Tогores, J. 2003. *Tratado de Enologia*. Mundi-Pren. Madrid.
- IPCC. 1990. "First Assessment Report". Geneva.
- ISO. 2006. "14040:2066 Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework". Geneva.
- ISTAT. 2000. "Censimento Dell'agricoltura". Roma.
- Jacquet, P., and C. Capdeville. 2007. *Installazioni Vinicole*. Eno-one. Reggio Emilia.
- Kusuda, T, and P R Achenbach. 1965. "Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States." *ASHRAE Trans* 71: 61–75.
- Lawrence Berkeley National Laboratory. 2005. "BEST-Winery: Benchmarking and Energy and Water Efficiency Savings Tool." <http://best-winery.lbl.gov>.
- Marescalchi, Claudio. 1965. *Manuale Dell'Enologo (Winemaking Manual)*. Casale Monferrato: Fratelli Marescalchi.
- Martín Ocaña, Silvia, and Ignacio Cañas Guerrero. 2005. "Comparison of Hygro-Thermal Conditions in Underground Wine Cellars from a Spanish Area." *Building and Environment* 40 (10) (October): 1384–1394. doi:10.1016/j.buildenv.2004.11.005.
- Martín Ocaña, Silvia, and Ignacio Cañas Guerrero. 2006. "Comparison of Analytical and on Site Temperature Results on Spanish Traditional Wine Cellars." *Applied Thermal Engineering* 26 (7) (May): 700–708. doi:10.1016/j.applthermaleng.2005.09.004.
- Mazarrón, Fernando R., Jaime Cid-Falceto, and Ignacio Cañas Guerrero. 2012a. "An Assessment of Using Ground Thermal Inertia as Passive Thermal Technique in the Wine Industry around the World." *Applied Thermal Engineering* 33-34 (February): 54–61. doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.09.010.
- Mazarrón, Fernando R., Jaime Cid-Falceto, and Ignacio Cañas Guerrero. 2012b. "Ground Thermal Inertia for Energy Efficient Building Design: A Case Study on Food Industry." *Energies* 5 (12) (February 2): 227–242. doi:10.3390/en5020227.
- Menghini, Silvio. 2008. *Ruolo Del Settore Vitivinicolo Nei Processi Di Sviluppo Sostenibile*. Franco Ang. Firenze.
- Nomisma. 2008. *Wine Marketing. Scenari, Mercati Internazionali E Competitività Del Vino Italiano*. Agra. Roma.
- Notarnicola, B, and G Tassielli. 2003. "Life Cycle Assessment ( LCA ) of Wine Production." In *Environmentally-Friendly Food Processing*, Woodhead P.

- Pizzigallo, a C I, C Granai, and S Borsa. 2008. "The Joint Use of LCA and Emergy Evaluation for the Analysis of Two Italian Wine Farms." *Journal of Environmental Management* 86 (2) (January): 396–406. doi:10.1016/j.jenvman.2006.04.020.
- Point, E., P. Tyedmers, and C. Naugler. 2012. "Life Cycle Environmental Impacts of Wine Production and Consumption in Nova Scotia, Canada." *Journal of Cleaner Production* 27 (May): 11–20. doi:10.1016/j.jclepro.2011.12.035.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri. 2013. *Disposizioni Urgenti per Il Recepimento Della Direttiva 2010/31/UE Del Parlamento Europeo E Del Consiglio Del 19 Maggio 2010, Sulla Prestazione Energetica Nell'edilizia per La Definizione Delle Procedure D'infrazione Avviate Dalla Commissione Europea*,
- Regione Emilia Romagna. 2000. *Allegato A - Requisiti Cogenti*. Bologna.
- Regione Emilia Romagna. 2008. "Produzione Lorda Vendibile 2007". Bologna.
- Ribereau-Gayon, P., Y. Glories, A. Maujean, and D. Dobordieu. 2002. *Tratado de Enologia. Quimica Del Vino Estabilizacion Y Tratamientos*. Mundi Pren. Madrid.
- Rugani, Benedetto, Ian Vázquez-Rowe, Graziella Benedetto, and Enrico Benetto. 2013. "A Comprehensive Review of Carbon Footprint Analysis as an Extended Environmental Indicator in the Wine Sector." *Journal of Cleaner Production* 54 (September): 61–77. doi:10.1016/j.jclepro.2013.04.036.
- Ruiz De Adana, M, L M Lopez, and J M Sala. 2005. "A Fickian Model for Calculating Wine Losses from Oak Casks Depending on Conditions in Ageing Facilities." *Applied Thermal Engineering* 25 (5-6): 709–718.
- Ruiz Hernandez, M. 1999. *La Crianza Del Vino Tinto Desde La Prospectiva Viticola*. Mundi-Pren. Madrid.
- Sangiorgi, Franco, and Loredana Dioguardi, ed. 2011. *Criteri Di Analisi E Progettazione Integrata Nell'industria Agroalimentare*. Roma: Ministero dell'Università e della Ricerca.
- SEPSA. 1952. *Guida Pratica de Vinificacion Moderna*. 4<sup>th</sup> ed. Barcelona, Spain: Ediciones Sociedad Enológica del Penedes.
- State of California. 2006. *Carbon Cap-and-Trade Program*. Sacramento (USA): AB 32 2006 Assembly Bill 32.
- Tassinari, Patrizia. 2007. "Analisi Del Sistema Insediativo Rurale: Approfondimenti Metodologici E Primi Risultati." *Architettura Del Paesaggio* 16.
- Tassinari, Patrizia, Stefano Benni, Daniele Torreggiani, Enrica Dall'Ara, and Valentina Corzani. 2010. "Thinking ( and Living ) Everyday Wine Farm Landscape as Hortus." In *LIVING LANDSCAPE The European Landscape Convention in Research Perspective*.
- Tassinari, Patrizia, Elisabetta Carfagna, Daniele Torreggiani, Stefano Benni, and M. Zagoraiou. 2010. "The Study of Changes in the Rural Built Environment: Focus on Calibration and Improvement of an Areal Sampling Approach." *Biosystems Engineering* 105 (4) (April): 486–494. doi:10.1016/j.biosystemseng.2010.01.008.



- Theron, C.J., and G. Niehaus. 1934. "Wine-Making". Pretoria.
- Torreggiani, Daniele, Stefano Benni, Valentina Corzani, Patrizia Tassinari, and Sergio Galassi. 2011. "A Meta-Design Approach to Agroindustrial Buildings: A Case Study for Typical Italian Wine Productions." *Land Use Policy* 28 (1) (January): 11–18.  
doi:10.1016/j.landusepol.2010.04.001.
- Troost, Gerard. 1953. *Die Technologie Des Weines*. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- U.S. Department of Energy. 2013. "Energy Plus 8.0."
- Ventura, Francesca, Osvaldo Facini, Teodoro Georgiadis, and Marianna Nardino. 2007. "Indagine Sui Flussi Di Materia Ed Energia Da Vigneto E Daterreno Nudo Nell'interfilare in Un Sistema Viticolo Dell'italia Centrale." In *Quaderni Viticoli Enologico*, 27–41.
- Vogt, E. 1971. *Fabricacion de Vinos (Winemaking)*. Zaragoza: Editorial Acribia.
- Wright, Laurence A, Simon Kemp, and Ian Williams. 2011. "'Carbon Footprinting': Towards a Universally Accepted Definition." *Carbon Management* 2 (1) (February): 61–72.  
doi:10.4155/cmt.10.39.
- Zamora, F. 2003. *Elaboracion Y Crianza Del Vino Tinto: Aspectos Cientificos Y Praticos*. Mundi-Pren. Madrid.

## **Allegati**

## A. Pubblicazioni

### A.1 Underground cellar thermal simulation: Definition of a method for modelling performance assessment based on experimental calibration<sup>1</sup>

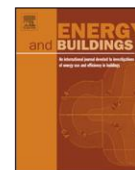
Energy and Buildings 76 (2014) 363–372



Contents lists available at ScienceDirect

Energy and Buildings

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/enbuild](http://www.elsevier.com/locate/enbuild)



## Underground cellar thermal simulation: Definition of a method for modelling performance assessment based on experimental calibration



Alberto Barbaresi, Daniele Torreggiani, Stefano Benni, Patrizia Tassinari\*

Department of Agricultural Sciences, University of Bologna, Italy

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 19 December 2013

Received in revised form 19 February 2014

Accepted 7 March 2014

#### Keywords:

Winery design

Energy simulation

Underground cellar

Experimental calibration

### ABSTRACT

The main objective of this research is to define a method to assess reliability in energy simulations for underground cellar modelling. Main energy programs do not guarantee thermal precision in heat exchange involving building and the surrounding ground. A thermal survey carried out in wine growing and producing farms allowed to collect inside temperatures in sampled buildings including an underground cellar.

Data have been collected throughout one year and used as reference for the modelling assessment. The method is based on the comparison between temperature recorded in the case study and those provided by its model simulation. The model is considered reliable if both fits the recorded thermal behaviour of the case study, and provides acceptable results according to the target precision of the research. The results obtained in this paper show the method can improve building temperature trend previsions, therefore can be considered as a reliable tool for energy-efficiency-oriented building and system design.

© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

### 1. Introduction

In order to obtain a good preservation, wine, as other food products, should be kept within specific temperature and humidity intervals for long periods as suggested in several winemaking manuals [1,2]. In the past centuries, one of the solutions for food preservation, in particular wine, was to place the food in underground rooms in order to both provide the best possible environment for ageing at that time [3] and to preserve goods for long period in particular in case of war [4]. Thanks to the well-known ground thermal characteristics, underground rooms help to keep the thermal and hygrometric conditions suitable for preservation. Due to high underground building cost, since the second half of the last century, thermal and humidity controls were assured through air-conditioning systems. These systems guarantee high precision for temperature and humidity control against an energy consumption closely connected to the environmental boundary conditions (such as site, building orientation, weather conditions, architectural and system solutions, etc.).

In the last years, progressive increase in energy prices, energy-saving oriented laws [5], and increased sensitivity of public opinion for environmental issues, have been pushing both the research and the market to evaluate the construction industry products also under the energy viewpoint [6]. The result is that low-consumption solutions have been preferred entailing a new interest in underground rooms for food and wine preservation, in particular in Mediterranean regions. Moreover, underground solutions can be necessary in hill and mountain sites or recommended when environmental constraints are involved.

The renewed interest for underground cellars requires a deeper study of underground rooms to assess their thermal behaviour. Nowadays, several programs for whole building energy simulations are available. Their use for the design decisions enables building professionals to consider different architectural, material and system solutions, by optimizing the building energy consumption and consequently allowing an operating cost reduction. Most of these programs are not designed to calculate energy exchange between buildings and ground. Even though these allow the user to model underground zones, do not guarantee precision and accuracy needed by the construction industry and overall by the companies who want to invest in underground buildings. The lower precision and accuracy are due to the heat transfer calculations (one-dimensional in software, two or three-dimensional in the actual ground heat transfer) and by the time scale of input data

\* Corresponding author at: Viale G. Fanin 48, 40127 Bologna, Italy.

Tel.: +39 051 209 6170; fax: +39 051 209 6171.

E-mail address: [patrizia.tassinari@unibo.it](mailto:patrizia.tassinari@unibo.it) (P. Tassinari).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.008>

0378-7788/© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

<sup>1</sup> Il presente articolo è stato ristampato nel rispetto dei diritti d'autore <http://www.elsevier.com/journal-authors/author-rights-and-responsibilities>

$T(x, t)$	mean ground temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ] at depth $x$ [m] on day $t$ of the year
$T_m$	yearly mean surface ground temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$A_s$	yearly temperature amplitude at the surface [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$\alpha$	ground thermal diffusivity [ $\text{m}^2 \text{day}^{-1}$ ]
$t_0$	day of minimum surface temperature
$T_c$	corrective value for mean temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$A_c$	corrective value for temperature amplitude [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$t_c$	corrective value for day of minimum temperature
dh	degree-hours
<b>Arrays</b>	
<b>T</b>	temperature arrays
<b>e</b>	error arrays
<b>Subscripts</b>	
$r$	recorded
$s$	simulated
$c$	cellar
$w$	wall
$i$	$i$ th time step
$r-1$	recorded $-1$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$r+1$	recorded $+1$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]

(even though the software dynamical calculations take into account the heat transfer transient regime, input data provide hourly temperatures for the outdoor air and monthly average temperatures for the ground).

Despite these considerations reported in some software manuals [7], recent studies developed with EnergyPlus [8] show that an ad hoc modelling can provide accurate results for heat transfer calculations in both underground and aboveground rooms, thus becoming an important tool to study and achieve building solutions oriented to energy efficiency. This work is a part of a wider research that aims at defining specific building design criteria, aimed at the landscape integration [9], functional design [10] and energy efficiency [11], for small-medium wine growing and producing farms. The specific aim is to define a method to assess reliability and precision in modelling the underground heat transfer. The method is based on the temperature comparison between values recorded in a case study and those provided by its model simulation. In this research, three different modelling approaches of the underground cellar under study are compared, through elaborations of simulation performed with EnergyPlus [12] program throughout one year of temperature monitoring.

## 2. Materials and methods

The method was developed by means of a five-step protocol: choice of energy software, case-study identification, run period definition, case-study modelling and simulation, reliability and precision assessment.

### 2.1. Energy Software: EnergyPlus 8.0

OpenStudio 1.1 [13] has been chosen as modeller for the purposes of this study, it uses EnergyPlus 8.0 as energy simulator. EnergyPlus, a popular program in literature released by U.S. Department of Energy, is a whole energy simulation program frequently used to calculate energy loads and to foresee temperatures trends in buildings [14]. The software allows the building division into thermal zones. A thermal zone is defined as a portion of space composed by an air volume at uniform temperature and by its boundary

surfaces. Main EnergyPlus features are: uniform air temperature distribution in each zone, uniform temperature of each surface, uniform thermal radiation at the long and short wavelength, diffuse radiating surfaces, one-dimensional heat conduction. It is important to remark EnergyPlus operates with “garbage in, garbage out” standard, therefore input accuracy and precision are strongly recommended. EnergyPlus reliability for aboveground heat transfer calculations is being tested and proven for each release using industry standard methods [12], diversely its manual warns about underground simulations: EnergyPlus one-dimensional conduction calculation “causes severe modelling problems irrespective of the methods being used” [7]. During the input phase, the monthly average ground temperatures can be collected in an EnergyPlus object called GroundTemperature:BuildingSurface and applied to the exterior side of the underground walls. These values are often unknown unless the ground temperatures have been monitored. Monthly mean temperatures for undisturbed grounds can be deduced by theoretical models, such as suggested by Kusuda and Achenbach [15]:

$$T(x, t) = T_m - A_s e^{-x\sqrt{\pi/365\alpha}} \cos \left[ \frac{2\pi}{365} \left( t - t_0 - \frac{x}{2} \right) \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}} \right] \quad (1)$$

The model does not take into account the thermal distortion made by the building influence, so values inferred by the model can drive to unreliable results when used for GroundTemperature:BuildingSurface definition.

In order to reduce simulation inaccuracy, EnergyPlus provides two auxiliary software, included in the EnergyPlus package, to calculate exterior side temperatures for underground walls: one for the slabs (slab program) and another for the walls (basement program). In the input procedure, slab and basement programs require interior monthly mean temperatures of the underground room and return the monthly main temperatures to create the GroundTemperature:BuildingSurface object in EnergyPlus. These auxiliary software should be used during energy simulation pre-process phase. Therefore, these are usable if the zone interior temperature trend is known beforehand (i.e.: temperature monitored or conditioned room). On one hand these pre-process auxiliary programs can return reliable results in conditioned underground rooms, on the other hand cannot be taken into consideration for wine-aging cellar, where often air conditioning is limited or missing.

In order to avoid the problem, Mazarron et al. [8] created an appropriate EnergyPlus modelling for non-conditioned entirely underground rooms. Their model requires thermal zone creation around the underground room as a consequence of the distortion caused by the construction to simulate the horizontal heat flux through the walls. The model was tested and validated on two underground cellars in Spain and model validation was based on comparison of interior room temperatures recorded on site with those calculated by the software. One of the model tested in this work is based on the solution by Mazarron et al. [8].

To complete the model and run the calculation, EnergyPlus requires local weather data in order to simulate the environmental weather conditions with a proper accuracy.

### 2.2. Case study

In 2012, in the framework of the above-mentioned broader research, a thermal-hygrometric survey was started in a sample of farm buildings. Among all monitored buildings, a wine-aging room has been chosen as case-study for this work. The room is the only underground portion of a two-storey building (see Fig. 1) of a wine farm settled in Bologna (Italy). The room (see Fig. 2) is a parallelepiped north-east oriented, 9.80 m long, 5.60 m wide and 2.60 m height. The room is entirely underground, with a basement





Fig. 1. Main building and underground room.

window located on the north-east wall, and a door on the north-west wall. The walls are made by 25 cm thick masonry, floor by baked clay bricks on a 20 cm of concrete slab, ceiling by a 30 cm of hollow concrete slab. The cellar is naturally ventilated (free running indoor air temperatures), while the room above is a conditioned residential space.

The aforesaid survey started in June 2012 and is still in progress. It allows us to record wine-ageing (hereinafter called “Cellar”) inner surface temperature and south-east wall (called “Wall”) temperature every 30 min. For the purposes of this paper also Wall temperatures have been considered because these represent important data for EnergyPlus simulation, and affect the air temperature in its proximity where often wine barrels are kept, in particular in rooms with poor ventilation.

The survey required sensors with resolution and accuracy suitable to air temperatures involved in wine preservation. For this reason, temperature intervals have been investigated in literature. Several authors focused on proper temperature intervals for wine-ageing: Troost [16] suggests one interval for white wines (9–12 °C) and one for red wines (12–15 °C). Bondiac [17] recommends a constant temperature between 10 °C and 12 °C, Marescalchi [1] suggested temperatures between 15 °C and 20 °C in the first year and between 4 °C and 1 °C for following years. The SEPSA [18] states that temperature should never be lower than 4 °C or higher than 25 °C, underlying the importance of a constant temperature between 8 °C and 14 °C for a proper ageing. Vogt [2] specifies yearly



Fig. 2. The cellar.

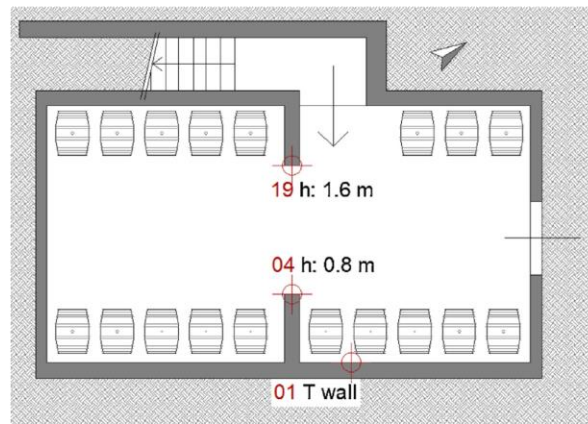


Fig. 3. Data-logger positioning scheme.

swing must be lower than 5–6 °C, within the 8–12 °C interval for white wine and 12–15 °C for red wines. Christaki and Tzia [19] show that temperature below 12 °C helps to reduce the risks in preservation phase. Despite the non-homogeneity of the reported values, due to different site and product investigated, 1 °C is the minimum unit of temperature considered. For this reason, the unit of temperature has been assumed as reference for the accuracy in the present study. Although this value is quite common for applications of applied thermodynamics, characteristic wine-making processes could call for lower or higher accuracy levels based on their own specific needs.

Therefore, the sensor accuracy suitable for the survey must be within  $\pm 1$  °C. The sensors chosen are standalone data-logger PCE-HT71. They are used uniquely as thermometers, resolution is 0.1 °C, accuracy  $\pm 0.5$  °C both suitable for the aforesaid survey. The  $\pm 1.0$  °C interval has been taken as reference for temperature homogeneity hypothesis.

Sensor positioning was deduced by a preliminary test carried out in June 2012 (details will be illustrated in a next specific publication). Despite the Cellar temperature uniformity has been verified by the test on the basis of the aforesaid reference, two data-loggers have been installed, in order to both prevent data missing in case of malfunctioning and to check the validity of uniformity air temperature hypothesis in the Cellar throughout the time. For the purposes of this research, the Cellar air temperature has been defined as the mean of temperatures recorded by the two data-loggers (loggers no. 04 and no. 19). The above-mentioned preliminary test showed furthermore that the Wall temperatures are very close to Cellar temperatures but the variation is slower. For this reason a further sensor, has been located sticking to the Wall and conveniently isolated from the indoor environment in order to record the Wall temperatures.

The definitive positioning is showed in Fig. 3.

Another data-logger was placed in the above room to record residential interior temperatures. The analysis of reliability and precision of the models will be based on the comparison between modelled and actual temperatures in the two spots: Cellar and Wall.

The closest WMO weather station is located 32 km north east far from the case-study and its weather file is available on the EnergyPlus site (ITA.Bologna-Borgo.Panigale.161400.IGDG.epw) [12]. The file collects weather data representing a typical meteorological year. In order to get data more detailed and more suitable for this research purpose, a weather station (model PCE-FWS20) has been placed 100 m far from the monitored building, recording exterior temperature, humidity, pressure, wind direction and wind speed every 30 min. Two weather files (one for the year 2012 and one for

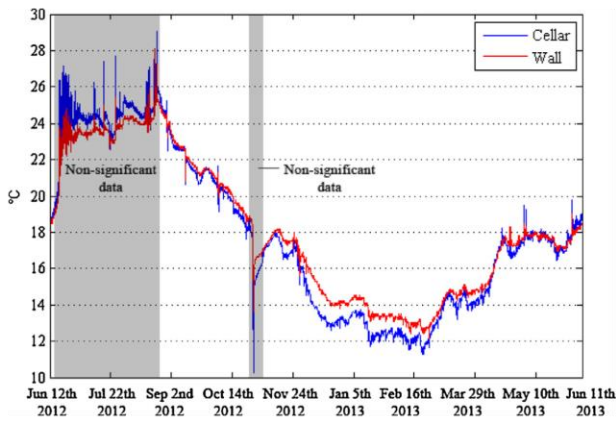


Fig. 4. Recorded temperatures in the case study.

the 2013) were created using the hourly averages of recorded data. The Bologna weather file data, where available, were used to fill the missing information. This operation allowed to run the simulations by using the actual site data, recorded simultaneously with the monitoring.

Geological reports, edited for the building construction, provided physics characteristics of the ground around the cellar. Ground is clayey and homogeneous, and its thermal characteristics have been taken from literature [20].

### 2.3. Run period definition

The case-study temperature survey, for this research purposes, lasted one year, since June 12th, 2012, until June 11th, 2013. Throughout the survey, all activities carried out in the cellar were noted. The comparison between cellar temperatures and activities showed that normal procedure activities, such as barrel refilling, door and window opening, etc., did not produce significant temperature modifications. On the contrary, two prolonged activities, that do not belong to standard wine-ageing procedures, modified importantly interior conditions making the temperatures useless for the research (as shown in Fig. 4). During the summer 2012, in fact, the window and the door were left open and three fans were installed and occasionally activated in order to expel odour emissions caused by a recent room renovation. For this reason, data recorded between June 13th, 2012 and August 25th, 2012 have been excluded from the calculations. At the end of October 2012, a prolonged window and door opening, non-compatible with standard room operations, created a temperature drop, therefore data recorded since October 29th, 2012 and November 11th, 2012 have been excluded. Fig. 4 shows all the temperatures recorded throughout the monitored year. The two periods, whose temperatures are excluded from the elaborations, are highlighted. Finally for this work the total number of hours analysed is 6692 that represents the 76% of all 8760 h recorded. This sample has been considered acceptable for the research. The hourly mean temperatures are collected in two arrays  $T_{rc}$  (case-study Cellar temperatures) and  $T_{rw}$  (case-study Wall temperatures).

Table 1 shows the average, the maximum and the minimum temperature values recorded throughout the overall run period and the date in which the minimum temperature was recorded ( $t_0$ ) to be used in formula 1. The weather station data are meant as daily mean values.

Table 1

Average, maximum and minimum values recorded throughout the run period and dates of minimum temperatures.

	Average	Max [°C]	Min [°C]	$t_0$
Cellar	16.4	26.0	11.3	24/02/13
Wall	16.9	25.4	12.1	27/02/13
Outdoor	14.3	32.3	−2.0	13/12/12

### 2.4. Case-study modelling and simulation

In this study three different models of the case-study have been created. These are the variations of a common EnergyPlus model that defines the underground part (Cellar) and the aboveground part of the case-study building. For the purposes of the present study, it is important to remark that for all models a temperature control has been inserted in the room above the Cellar to simulate the temperature trend recorded in that building portion. To simulate standard wine-ageing conditions, the cellar window and door are designed closed and air infiltration rate is set in 0.1 air changes per hour calculated referring to the Italian standards [21].

The differences of the three models concern just the modelling of Cellar walls and, since ground data availability is one of the difficulties of underground modelling, each model is based on a different hypothesis of ground data availability.

#### 2.4.1. Model A

Hypothesis: minimum, maximum and average underground interior wall temperatures and the day of minimum temperature are supposed available.

- The GroundTemperature:BuildingSurface object is deduced by Kusuda's formula (1) modified by corrective values. The modified formula is:

$$T(x, t) = T_m + T_c(-A_s + A_c)e^{-x\sqrt{\pi/365\alpha}} \times \cos\left[\frac{2\pi}{365}\left(t - (t_0 + t_c) - \frac{x}{2}\right)\sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}}\right] \quad (2)$$

where  $T_c = +4.83^\circ\text{C}$ ,  $A_c = -2.02^\circ\text{C}$  and  $t_c = +56$  days, are the corrective values generated in order to get a temperature curve having same mean, same amplitude and same day of minimum temperature as the cellar interior Wall. In Fig. 5 Kusuda undisturbed ground temperature curve, wall recorded temperature trend and modified Kusuda temperature curve are displayed.

- Cellar walls have heat capacity and thermal resistance corresponding to 25 cm thick masonry (Fig. 6).

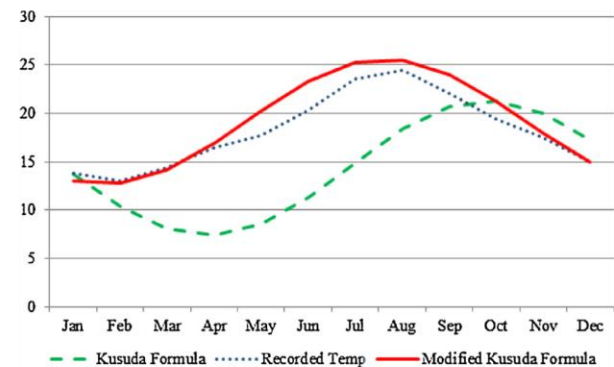


Fig. 5. Underground temperatures for Model C.



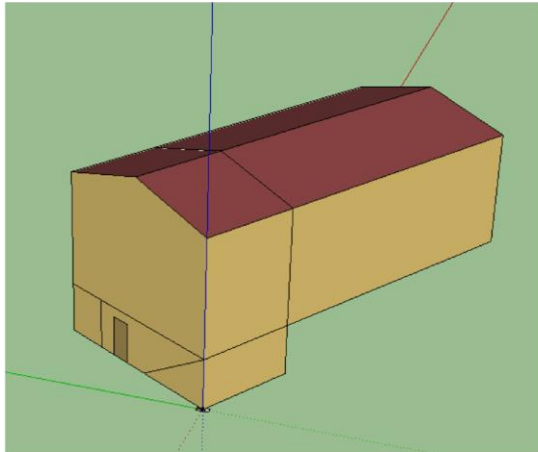


Fig. 6. Models A and B.

#### 2.4.2. Model B

Hypothesis: interior wall temperatures deduced by thermal survey are supposed available.

- The GroundTemperature:BuildingSurface object is used to simulate wall interior temperatures and is filled using the monthly mean temperatures recorded.
- The Cellar walls have null heat capacity and thermal resistance.

#### 2.4.3. Model C

Hypothesis: ground type, density and thermal conductivity are supposed available in input phase.

- Thermal zones around the cellar are created according to Mazarron et al. [8] to simulate the surrounding ground (Fig. 7).
- Boundary walls between the Cellar and the surrounding zones are composed by two materials: 25 cm thick masonry (real wall thickness) and a fictitious material with null heat capacity and thermal resistance [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ] equal to a ground layer as thick as the ground fictitious thermal zone.
- The GroundTemperature:BuildingSurface object is created using Kusuda and Achenbach [15] model (formula 1) and applied to fictitious thermal zone exterior walls.

#### 2.4.4. Simulations

The EnergyPlus simulations return, among other values, the Cellar temperatures (to be compared with the mean of data-loggers 04 and 19) and Wall temperatures (to be compared with data-logger

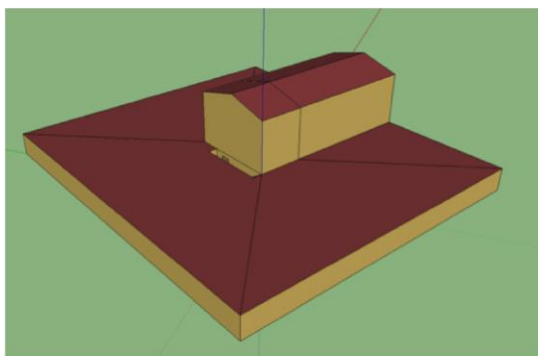


Fig. 7. Model C.

01). The output variable time interval is set in 1 h. In order to compare EnergyPlus results and recorded data, two simulations were run, the first for the solar year 2012 and the second for the 2013. The 6692 temperatures corresponding to the survey period are collected in two arrays, one for Cellar temperatures  $T_{sc}$  and one for Wall temperatures  $T_{sw}$ . All other data coming from simulations are not considered.

The computer used for EnergyPlus simulation has the following characteristics: Intel(r) Xeon(r) processor, CPU 3.06 GHz, RAM 6.00 GB, operative system Microsoft Windows 7 64bit.

#### 2.5. Reliability and precision analysis

For the purposes of this research, a model is considered reliable if has similar thermal behaviour to the case study and if modelled-actual temperature differences can be considered acceptable for the target precision of the research (as later explained in detail).

##### 2.5.1. Research precision definition

Before the analysis of the model reliability, reference values for result acceptability have been defined: two arrays were generated,  $T_{r-1}$  and  $T_{r+1}$ , in which the  $i$ th element is defined as in the followings:  $T_{r-1,i} = T_{ri} - 1^\circ\text{C}$  and  $T_{r+1,i} = T_{ri} + 1^\circ\text{C}$ , where  $T_{ri}$  is the temperature recorded at the time step “ $i$ ” in the case-study. The arrays  $T_{r-1}$  and  $T_{r+1}$  can be considered as the temperature arrays generated by two models that differ by  $1^\circ\text{C}$  in positive  $T_{r+1}$  and in negative  $T_{r-1}$  from the case-study recorded temperatures and will be used as comparison virtual models.

The temperature interval  $\pm 1.0^\circ\text{C}$  is considered based on the unit of temperature resulting from the analysis of the state of the art (see Section 2.2) The arrays  $T_{r-1}$  and  $T_{r+1}$  were used to calculate reference threshold interval for error acceptability, as better explained later.

##### 2.5.2. Model reliability assessment

To check if the model and the monitored case study have the same thermal behaviour, the correlation analysis is taken into consideration. For each time step, the thermal behaviour is defined by the starting temperature and its variation. Cellar and Wall hourly temperatures returned by the simulation are compared with the respective case-study values for each model investigated:  $T_{sc}$  compared with  $T_{rc}$  and  $T_{sw}$  compared with  $T_{rw}$  ( $T_{rc}$  and  $T_{rw}$  defined in Section 2.3). From the comparisons, Pearson product-moment correlation coefficient ( $r$ ) and linear regression line ( $y = ax + b$ ) are calculated. The more the values  $r$ ,  $a$ ,  $b$  are respectively close to 1, 1, and 0, the more the model and the case study have similar temperature and similar variation in every time step: in other words they have similar thermal behaviour.

To check for results' acceptability, error arrays  $e_c$  (Cellar) and  $e_w$  (Wall) are calculated and compared with errors calculated on the above-mentioned virtual models  $T_{r+1}$  and  $T_{r-1}$ . The arrays  $e_c$  and  $e_w$  represent the difference between simulated data and surveyed data. The  $i$ th element  $e_i$  is defined as:  $e_i = T_{si} - T_{ri}$ , where  $T_{si}$  is the simulated temperature and  $T_{ri}$  the case-study temperature recorded at the time step “ $i$ ”. The average and RMSE are calculated for errors. Later, summations of elements ( $\sum e_{ci}$  e  $\sum e_{wi}$ ) are calculated obtaining the error by excess (summation of sole positive errors), error by defect (summation of sole negative errors), total error (algebraic summation of all errors), absolute error (summation of error absolute values). These summations, seen by an energy point of view can be interpreted as “thermal distance” expressed in terms of degree-hours, since  $e_i$  is a temperature in Celsius degree and the step “ $i$ ” is a 1 h time interval. The same procedure has been applied to reference temperatures collected in the arrays  $T_{r-1}$  and  $T_{r+1}$  in order to identify an error reference interval. Then, by considering the 6692 time steps, reference

**Table 2**

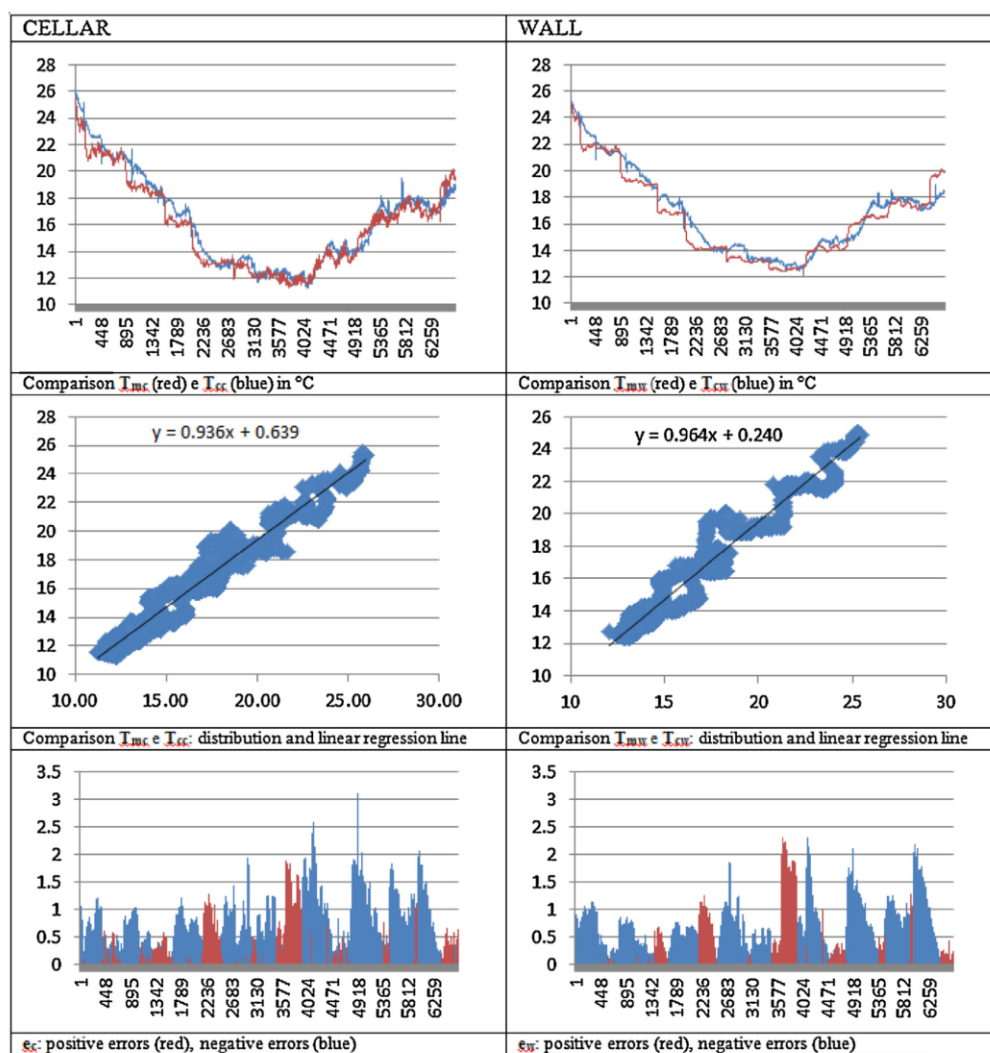
Reference values and intervals.

	[°C]		degree-hours			
	Mean	RMSE	Excess	Defect	Total	Absolut
Reference	±1.0	±1.0	0/6692	–6692/0	±6692	0/6692

interval become  $\pm 6692$  degree-hours. Table 2 sums up the reference intervals. Model results are defined acceptable if the mean, the RMSE and the absolute error calculated on the arrays  $e_c$  and  $e_w$  are within the reference intervals as reported in Table 2. Moreover, the three models are compared in terms of ratio of their total and absolute errors to the relevant errors calculated for the virtual models. The excess, defect and total errors are not fundamental for the acceptability analysis. However these are reported to make the result dissertation more clear and complete. Indeed their values can indicate model thermal overestimations and underestimations.

### 3. Results and discussion

In this section, Figs. 8–10 show graphics of case-study model comparisons for each simulation. Fig. 11 shows temperature trends in one summer and in one winter week. A summary table (Table 3) is reported. The first step of model reliability assessment is based on Pearson coefficient ( $r$ ) and on the regression line coefficients ( $a$  and  $b$ ) calculated on the comparison between case-study and model temperatures for both the Cellar and the Wall. The Pearson coefficient varies lightly (0.03) depending on the model and show negligible variation depending on the monitored spot (Cellar and

**Fig. 8.** Model A results.



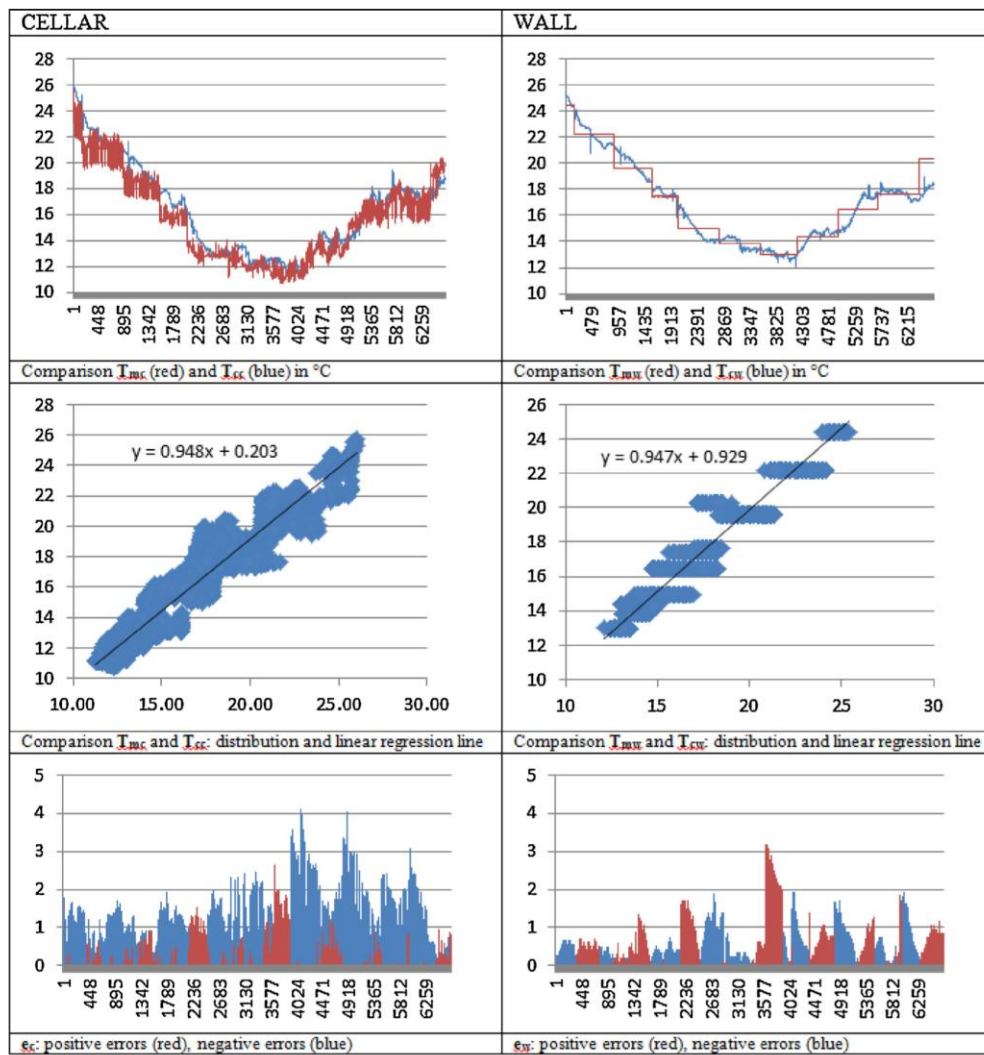


Fig. 9. Model B results.

Wall). In all cases, Pearson is close to 1. The model C shows highest values, slightly lower model A and finally model B, all  $r$  values are from 0.963 (model B – Wall) to 0.996 (Model C – Wall) showing a sound correlation between case-study and model data. Another important consideration comes from the slope  $a$  and the intercept  $b$  of the linear regression. In all models for both monitored spots

$a$  is close to 1, (from 0.936 model B – Cellar to 1.006 model C – Wall) and  $b$  is close to 0 (from –0.195 model C – Wall to 0.975 model C – Cellar). Differently to what seen for Pearson coefficient, there are not relevant differences based on models or on monitored spots. This analysis shows all the models and the case study present similar initial temperature, similar variation and therefore similar

**Table 3**  
Summary table.

	Thermal behaviour analysis			Temperature differences analysis					
	$r$	$a$	$b$	Mean	RMSE	Excess	Defect	Total	Abs.
Ref.				$\pm 1.0$	$\pm 1.0$	0 6692	–6692 0	$\pm 6692$	0 6692
Model A – Sim. time 25.37 s									
Cellar	0.980	0.936	0.639	–0.411	0.689	762	–3516	–2753	4278
Wall	0.972	0.964	0.240	–0.363	0.734	958	–3389	–2431	4347
Model B – Sim. time 22.00 s									
Cellar	0.964	0.948	0.203	–0.650	0.911	837	–5188	–4351	6024
Wall	0.963	0.947	0.929	0.042	0.840	2241	–1962	278	4203
Model C – Sim. time 57.19 s									
Cellar	0.994	0.952	0.975	0.194	0.395	1832	–531	1301	2363
Wall	0.996	1.006	–0.195	–0.086	0.296	537	–1115	–577	1652

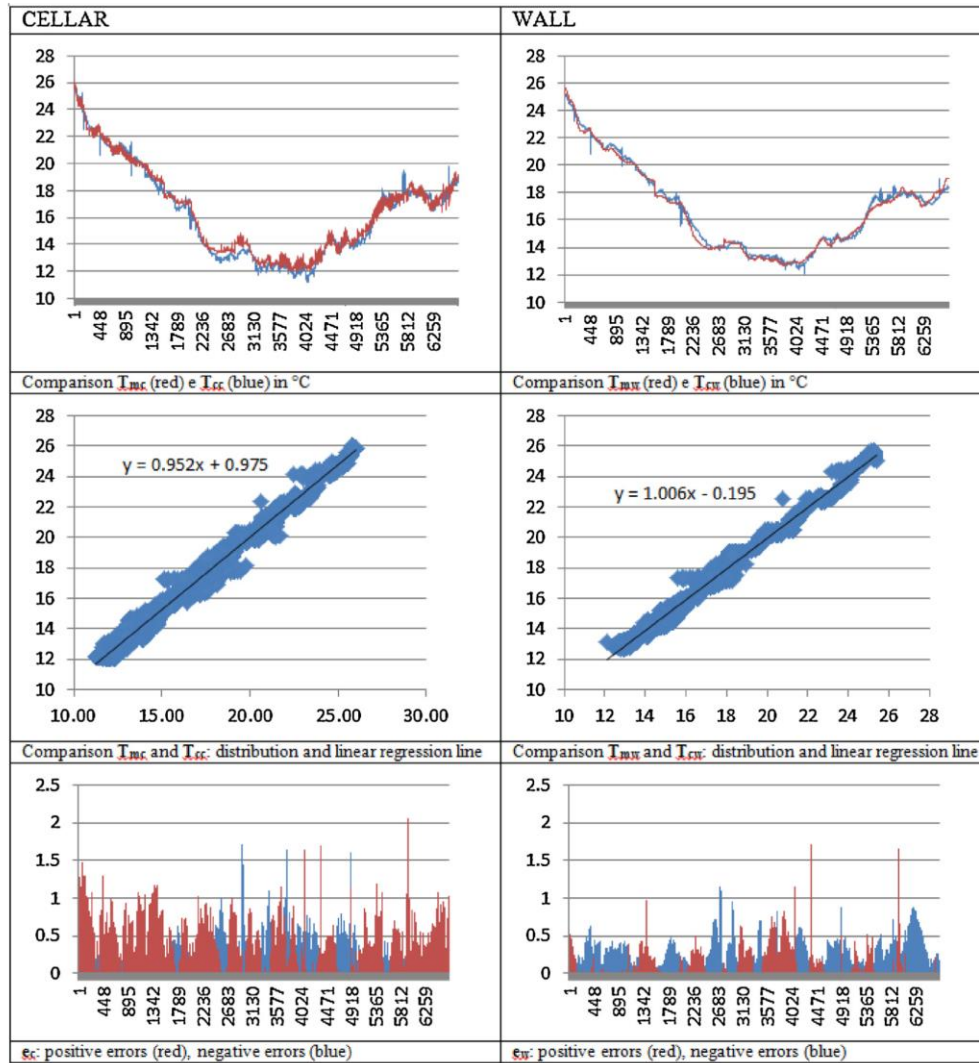


Fig. 10. Model C results.

final temperature for every time step entailing the same thermal behaviour.

In the second step, mean, RMSE and absolute error summation are analysed. For the models A, B and C, the analysis shows the three indicators are inside the reference intervals for both the Cellar and Wall results, therefore verification test are intended satisfied. The analysis of the mean error and the RMSE in the model C for the Cellar and the Wall, shows Wall simulation is more precise since its values are closer to 0.

Specifically, the model A presents non-significant difference between the monitored spots. Mean errors are about  $-0.400^\circ\text{C}$ , RMSE  $0.700^\circ\text{C}$ , total errors 2600 dh and absolute errors 4300 dh. Referred to the error summations calculated for the virtual models, the Wall total error (corresponding to mean error by definition) is 36.3% and Cellar total error is 41.1%, the Wall absolute error is 63.9% and Cellar absolute error 65.0%.

In the model B input phase, the Wall temperature has been determined inserting 12 values corresponding to monthly average temperatures of recorded data. Results are consistent with the input data, model B indeed shows the smallest Wall mean error, lower than data-logger resolution ( $0.042^\circ\text{C}$ ), against high values of

Wall RMSE ( $0.911^\circ\text{C}$ ), Cellar mean error ( $-0.640$ ) and Cellar RMSE ( $0.850$ ). Analysing the error summations, Cellar calculation is a relevant underestimation of reality, the absolute error is indeed close to the reference value (6024 degree-hours); for the Wall, the small total error (278 dh) comes from the compensation between errors by excess (2241) and errors by defect ( $-1962$ ). Referred to virtual model error summations, total error is 4.2% for the Wall and 65% for the Cellar, Wall absolute error is 62.8% and Cellar absolute error is 90.0%.

Finally, in the model C, the Wall mean error is  $0.086^\circ\text{C}$ , smaller than data-logger resolution ( $0.1^\circ\text{C}$ ). The analysis of error summations, besides confirming the higher precision of Wall results, highlights model C generates a positive total error for Cellar results. In other words, model C simulation overestimates real data, on the contrary Wall results generate a negative total error showing model C is an underestimation of reality for the Wall temperature trend. Compared to virtual model error summations, the Cellar total error is 19.4% for the limit and Wall total error 8.6%, the Cellar absolute error is 35.3% and Wall absolute error is 24.7%. As well as the model B, model C simulation is more precise for Wall results.

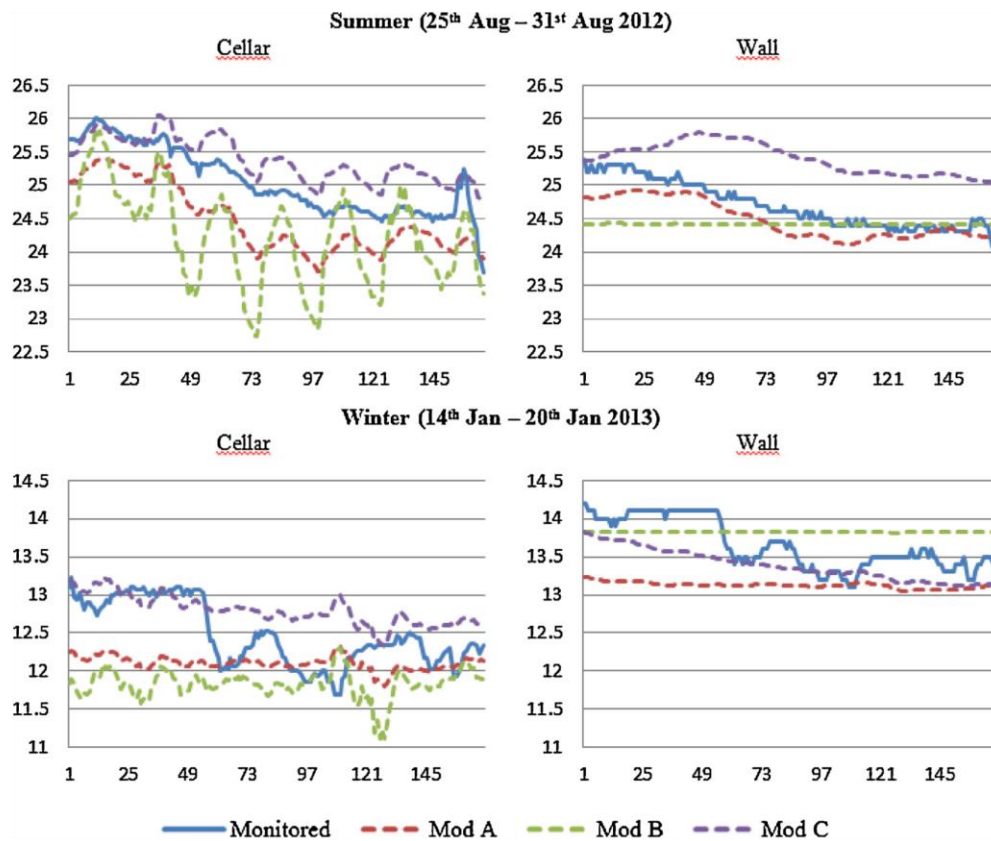


Fig. 11. Monitored and simulated temperature over one summer and one winter week – horizontal axis: time [h] vertical axis: temperature [°C].

The analysis of the three models in terms of mean, total and absolute error and RMSE, displays as model C is more precise than models A and B, both for the Wall and the Cellar. The only exception is represented by the Wall mean error (and total error as well) in the Model B. The exception is expected because of the wall temperature input procedure in the model B. We believe one of the possible cause of model A and B lower precision is the EnergyPlus underground temperature input procedure. We remind EnergyPlus allows the temperature insertion just as twelve monthly average temperatures. The simulations of model A, B and C return more precise results for the Wall than for the Cellar. The reason can be the wall simulation is less affected by factors hard to manage such as air ventilation and infiltration.

The simulation time is longer, more than double, for the model C compared the other two models that run in a similar time. This difference ensues from the complexity of model C. The fictitious zones and materials increase in fact the number of surfaces and volumes involved in calculation.

#### 4. Conclusions

The study evaluated three models of the same case-study for predicting surface and air temperature cellars. The differences among models came from different hypothesis of ground data availability. The results returned by EnergyPlus simulations were compared to case-study recorded data and underwent a validation acceptability procedure. The three model simulations returned acceptable results according to the method, demonstrating EnergyPlus potential can be used also for heat exchange between ground

and building, as a consequence of an appropriate underground modelling.

It is important to remark the importance of the research goal for the result acceptability. Indeed, according to method reference values, the results analysed in this paper have been considered reliable to assess the cellar suitability for wine-ageing, but the same results could not be acceptable in other research with different goal, for example when particular wines need a stricter thermal control.

About modelling, the three models can be used in different situations based on ground data availability: model A if the extreme interior temperature values are available, model B if underground wall temperatures are taken from a continue survey and model C if main ground thermal characteristics are known. Considering the ease and the cheapness to find input information and its results accuracy, model C is more advisable than other models investigated, if increased calculation time can be acceptable. The calculation time is double for model C and this can be a crucial issue in the situations of high complexity models or for preliminary studies where speed is preferable to precision.

The model C results extend Mazarron et al. [8] model reliability to the wall temperatures. This is considered an important result because wall temperature is an influential factor both in EnergyPlus modelling and in wine-ageing. Furthermore the grounds modelled in Mazarron's simulation and in our simulation, have different thermal characteristics. Thus this work results can be considered a first step to show the validity of this modelling regardless the nature of the ground. The reliability of model A and B is strongly influenced by ground temperature input modality (i.e. GroundTemperature:BuildingSurface object), emblematic is the Wall temperature returned by model B, that shows the smallest



mean error against the highest RMSE. We think increasing the number of temperature intervals in the input phase can drive to a RMSE substantial decrement, by keeping the same mean error. The verification of this hypothesis will be inserted in the following steps of this research. Further developments of this research consider to test the same underground room modelling, for different planimetric proportions and sizes, in order to investigate new input modality for GroundTemperature:BuildingSurface object. Preliminary analyses, carried out for different cellar ceiling heights, showed different thermal behaviours in the three models. Simulations showed the behaviours are strongly related to the boundary ground temperatures. For this reason, the model validation calls for a comparison between simulated data and data recorded in a suitable case-study. Moreover specific analysis about modelling reliability in non-homogeneous ground should be carried out. The method discussed in this paper can be considered a first tool to measure and check result reliability in underground modelling. Improving the underground modelling result reliability for software like Energy-Plus can drive to important consequences like more reliability in building temperature trend previsions. Therefore, it can improve building and system design and suggest more precise energy-saving solutions for the building industry.

## References

- [1] Marescalchi C., Manuale dell'enologo (Winemaking Manual), Fratelli Marescalchi, Casale Monferrato, 1965.
- [2] Vogt E., Fabricacion de vinos (Winemaking), Editorial Acribia, Zaragoza, 1971.
- [3] Alberti L.B., L'architettura tradotta in lingua fiorentina da Cosimo Bartoli (The architecture translated by Cosimo Bartoli), Francesco Franceschi Sanese, Venezia, 1565.
- [4] di Giorgio Martini F., Trattati di architettura, ingegneria e arte militare (Treatise on Architecture, Engineering and Art of War), Il Polifilo, Milano, 1967.
- [5] Horizon 2020. The Framework Programme for Research and Innovation. COM(2011) 808 Final, European Commission, Brussels, 2011.
- [6] Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings, European Parliament, Brussels, 2010.
- [7] Auxiliary EnergyPlus Programs, US Department of Energy, CA, USA, 2013.
- [8] F.R. Mazarron, J. Cid-Falceto, I. Canas, An assessment of using ground thermal inertia as passive thermal technique in the wine industry around the world, *Applied Thermal Engineering* 33–34 (2012) 54–61.
- [9] P. Tassinari, D. Torreggiani, S. Benni, E. Dall'Ara, Landscape quality in farmyard design: an approach for Italian wine farms, *Landscape Research* 38 (2013) 729–749, <http://dx.doi.org/10.1080/01426397.2012.746653>.
- [10] Torreggiani D., Benni S., Corzani V., Tassinari P., Galassi S., A meta-design approach to agroindustrial buildings: a case study for typical Italian wine productions, *Land Use Policy* 28 (11–18) (2011), cited by (since 1996):2.
- [11] S. Benni, D. Torreggiani, A. Barbaresi, P. Tassinari, Thermal performance assessment for energy-efficient design of farm wineries, *Transactions of the ASABE* 56 (2013), <http://dx.doi.org/10.1303/trans.56.10259>.
- [12] Energy plus 8.0, 2013. Available on line.
- [13] Open studio 1.0, 2013. Available on line.
- [14] F.R. Mazarron, J. Cid-Falceto, I. Canas, Ground thermal inertia for energy efficient building design: a case study on food industry, *Energies* 5 (2012) 227–242.
- [15] T. Kusuda, P. Achenbach, Earth temperature and thermal diffusivity at selected stations in the United States, *ASHRAE Transactions* 71 (1965) 61–75.
- [16] G. Troost, Die Technologie des Weines, Eugen Ulmer, Stuttgart, 1953.
- [17] E. Bondiac, Elaboracion de vinos. Vinificacion moderna, America Tecnica, Buenos Aires, 1953.
- [18] SEPSA, Guida pratica de vinificacion moderna, 4th edition, Ediciones Sociedad Enologica del Penedes, Barcelona, Spain, 1952.
- [19] T. Christaki, C. Tzia, Quality and safety assurance in winemaking, *Food Control* 13 (2002) 503–517.
- [20] L. Martelli, F. Tinti (Eds.), Climatizzazione degli edifici con pompe di calore geotermiche in Emilia-Romagna (Building conditioning with geothermal heat pumps in Emilia Romagna Region), Centro Stampa della Regione Emilia-Romagna, Bologna, 2012.
- [21] UNI/TS, 11300 Prestazioni energetiche degli edifici (Building energy performances, Technical Report), Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano, 2008.

## A.2 Thermal Performance Assessment for Energy-Efficient Design of Farm Wineries<sup>2</sup>

*Transactions of the ASABE* 56 (1965) (December 18): 1483–1491.

### THERMAL PERFORMANCE ASSESSMENT FOR ENERGY-EFFICIENT DESIGN OF FARM WINERIES

S. Benni, D. Torreggiani, A. Barbaresi, P. Tassinari

**ABSTRACT.** *This study represents the first contribution within a research project aimed at defining design criteria for energy efficiency in food processing farm buildings. In this context, small to medium wine-growing and producing farms call for a specific approach to building design, since criteria available for industrial wineries are not suited to this production sector. This study assesses the effects of various building design solutions on the energy performances of farm wineries and estimates relevant differences in construction costs. The following design variables were considered: plan and elevation composition, sun-shading surfaces, and construction technology. The following building design solutions were analyzed and compared through 3D computer modeling, energy simulation, and finite element structural analysis: above-ground building (I), partially underground building (II), and partially underground building with sun-shading elements (III). The analyses provided results in terms of the variation of mean indoor temperature throughout the year, the amount of energy to be transferred to maintain predefined temperatures in areas provided with thermal control systems, and differences in construction costs. Based on these results, we found that the partially underground solution (II) produced a reduction in the overall energy demand of 14% for heating and 50% for cooling in comparison with the aboveground solution (I). In particular, concerning the wine aging room, if it is built totally underground, the reduction in the energy demand for this area is 100% for heating and 75% for cooling. The adoption of sun-shading devices (solution III) allows an overall reduction of 27% for cooling. Design solutions II and III entail construction cost increases ranging from 12% to 27%, depending on the construction technology, but also allow wineries to reduce their energy consumption by up to 63%, and consequently their operating costs, with positive effects on the farm's image due to ever-increasing environmental concerns. This study also takes into consideration the effects of wine barrels on the aging room energy demands. Different numbers of barrels were introduced into the simulations, and results showed an energy demand increase of 12% to 26% to store 400 barrels and a linear dependence between the number of barrels and the energy demand increase.*

**Keywords.** *Building design, Efficiency, Energy, Winery.*

This study is part of a wider research project that aims at defining specific building design criteria for small to medium wine-growing and producing farms. Such farms play an essential role in the Italian wine sector in terms of overall production and marketing, as well as local product promotion, even on the global scale. This sector requires building design criteria that are necessarily different from those applied to industrial wineries, for which well-established standards are available in the literature (Ayuga, 1999), as underlined in previous studies (Tassinari et al., 2011; Torreggiani et al., 2011).

In recent years, environmental sustainability, which is a broadly shared goal in the building sector, has been gaining increasing attention in farm building design and construction, particularly in wineries (Mazarrón et al., 2012a; Tassinari et al., 2010, 2012, 2013). The integration of criteria

aimed at maximizing energy efficiency in building design is thus a topical subject in the agricultural sector, due to both the economic benefits at the farm scale and the potential benefits at the regional and global scales (Fuller et al., 2004; Boulton, 2010). Moreover, the latest research strategies and rural development policies encourage further development and spread of appropriate technologies and design models (EC, 2011).

Within the above-mentioned broader research project, the specific goal of this study is to assess the effects of various building design solutions on the energy performances of farm wineries and estimate relevant differences in construction costs. The following design variables have been considered: plan and elevation composition, sun-shading surfaces, and construction technologies.

#### STATE OF THE ART

In wine production, the aging process plays a primary role in product quality and has therefore been the subject of several studies aimed at defining suitable environmental conditions for wine aging. These studies usually define thermal intervals: Marescalchi (1965) indicates 15°C to 20°C for the first year of wine aging and 4°C to 12°C for older wines, Troost (1985) suggests 9°C to 12°C for white

---

Submitted for review in May 2013 as manuscript number SE 10259; approved for publication by the Structures & Environment Division of ASABE in October 2013.

The authors are **Stefano Benni**, Assistant Professor, **Daniele Torreggiani**, Assistant Professor, **Alberto Barbaresi**, Doctoral Student, and **Patrizia Tassinari**, ASABE Member, Full Professor, Department of Agricultural Sciences, University of Bologna, Italy. **Corresponding author:** Patrizia Tassinari, Viale G. Fanin 48, 40127 Bologna, Italy; phone: +39-051-209-6170; e-mail: patrizia.tassinari@unibo.it.

Transactions of the ASABE

Vol. 56(6): 1483-1491 © 2013 American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 2151-0032 DOI 10.13031/trans.56.10259 1483

---

<sup>2</sup> Il presente articolo è stato ristampato con il permesso del proprietario dei diritti di autore.

wines and 12°C to 15°C for red wines, Bondiac (1980) recommends 10°C to 12°C, and the Hong Kong Quality Assurance Agency (HKQAA, 2010) recommends 11°C to 17°C for fine wines. Previous studies also underline the importance of a constant temperature: Vogt (1971) recommends that the yearly temperature oscillation not be greater than 5°C to 6°C, and Ruiz Hernández (1999) and Zamora (2003) warn about the risks in wine aging due to high oscillations and high temperatures in summer. These studies also indicate the absence of conservation problems at low temperatures and increasing risks for temperatures higher than 20°C (Ribéreau-Gayon et al., 2002).

Another aspect discussed in these studies is the role of relative humidity, even though it does not directly affect wine quality. To achieve proper environmental conditions, relative humidity should be high and constant to reduce wine losses due to evaporation when aging wine in wooden barrels. At the same time, to avoid water condensation, relative humidity should not reach the dew point. For this reason, De Rosa (1988) suggests a minimum relative humidity of 80%, Troost (1985) suggests 86% to 98% as a suitable interval, Hidalgo Togoies (2003) suggests 70% to 80%, and HKQAA (2010) suggests 55% to 70%. Other authors have studied the influence of relative humidity, temperature (Négre-Francot, 1980), and air velocity (Ruiz de Adana et al., 2004) on wine losses in one year, finding that losses can range between 1% and 9%. Therefore, from the broad literature on thermal and hygrometric conditions in wine aging rooms, we can argue that relative humidity should be higher than 70%, temperature should be between 9°C and 17°C, and the yearly temperature oscillation should not be greater than 6°C to 7°C. An environment with such conditions allows proper wine aging, reducing wine losses from the barrels.

In order to maintain these conditions, since ancient times wine has been stored in underground rooms in Mediterranean countries. In this regard, many of the aforementioned authors indicate how to build underground cellars to take advantage of the soil's thermal inertia (Marescalchi, 1965; Theron and Niehaus, 1934) to maintain high humidity, moderate temperature, and thermal stability.

The benefits of aging wine in underground rooms were well known by architects in previous centuries. Leon Battista Alberti (1565) asserted that "*la volta per il vino lodano quella che è sotterra e riposta*" (underground rooms for the wine are praised); Vincenzo Scamozzi (1615) observed that "*le cantine per conservare i vini, se possibile si facciano sotto terra, perchè sono fresche d'estate e tiepide di verno*" (the cellars to keep wine should be underground because they are fresh in the summer and warm in the winter); Francesco di Giorgio Martini (1967) suggested that "*le càrove... esser volte verso tramontana massime quelle che non sono molto sotterra*" (the cellars must be north oriented, in particular those that are not deep underground); and Andrea Palladio (1570) stated that "*le cantine si deon fare sotterra, rinchiuse, lontane da ogni strepito e da ogni humore o fetore*" (the cellars must be built underground, closed, far from any noise or smell).

Despite these authoritative indications, in recent times several wineries have built their wine aging rooms above-

ground, in order to reduce initial expenses, with the inside temperature and humidity controlled by heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems. In addition to the aging process, the winemaking process requires strict temperature control as well, and in general it is achieved through cooling systems integrated into the tanks.

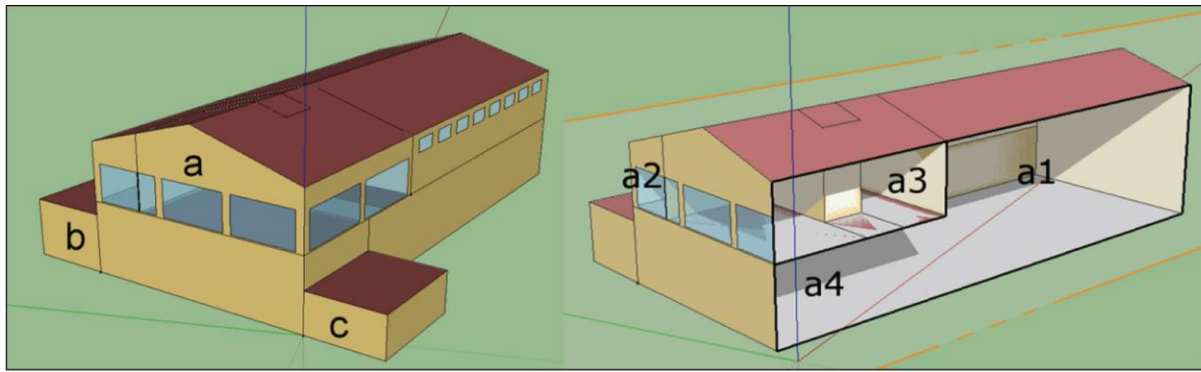
Therefore, in both the winemaking and aging processes, the electricity demand is considerable and represents a large proportion of the total energy needed for wine production. Smart use of electricity can reduce expenses and environmental impacts. Different amounts of electrical demand are considered in the literature, depending on several variables such as location, technology, and building dimensions. Point et al. (2012) found 50.67 kWh of electricity per 100 L of wine production (0.38 kWh per 750 mL bottle) for a winery in Canada, while Notarnicola et al. (2003) found 0.027 to 0.043 kWh per 750 mL bottle for wineries in Italy. The differences can be explained by the many factors that affect energy consumption, such as location, site, building and systems technology, winery size, kind of wine, conservation methods, and bottling system. The cumulative effect of these factors on energy demand can result in large differences among the study cases.

## MATERIALS AND METHODS

### CASE STUDY

In previous phases of the broader research project, particular attention was paid to the identification of farm case studies representative of the wine-growing and producing sector of the Emilia-Romagna region (Italy) through appropriate sampling procedures (Tassinari et al., 2011). This article focuses on one of these farms, which has an intermediate annual production capacity for the study area, as determined by previous studies (Tassinari et al., 2011). In particular, we assumed that the winery annually processes 400 tonnes of grapes of the following cultivars: Pignoletto or Chardonnay (40 tonnes), Albana (60 tonnes), and Trebbiano (100 tonnes) for white wines, and Cabernet Sauvignon (60 tonnes) and Sangiovese (140 tonnes) for red wines. These grape quantities correspond to a wine production of about 300,000 L year<sup>-1</sup>, equally divided into white and red wines.

A new winery building was designed for this farm to replace the existing buildings, which have become unsuitable for the farm's production standards and for efficient organization of the various winemaking activities. The new building will contain the various production processes, including commercialization and marketing. The specific design criteria defined for this building are based on the findings of previous studies (Torreggiani et al., 2011) and will be discussed in more detail in a future article. The building has a 40 × 17 m rectangular main unit (unit a in fig. 1) with a pitched roof and 9 m internal eave height. Part of this unit (a1 in fig. 1) has no horizontal divisions in order to contain the tall wine tanks, while the other part has two floors: offices (volume a2 in fig. 1) and commercialization and tasting areas (a3 in fig. 1) are upstairs, and the winemaking area is downstairs (a4 in fig. 1). It is well known that aging



**Figure 1. Proposed design of winery building: (a) main building, (a1) tank storage, (a2) offices, (a3) commercialization and tasting, (a4) wine-making, (b) aging room, and (c) HVAC equipment room.**

needs suitable thermo-hygrometric conditions, which have to be as constant as possible. Therefore, the aging room (unit b in fig. 1,  $40 \times 5$  m) was juxtaposed with the main unit on its northern side. The height (4 m) of the aging room is lower than that of the main unit to benefit from sun-shading.

The windows of area a1 are located on each of the two longer sides of the main unit, and their sizes are based on sanitary regulations. Wide glazed surfaces are used in the office, commercialization, and tasting areas to increase natural lighting and provide visual connection between the indoor and outdoor spaces. In addition to lighting, this design may increase heat gains due to direct solar radiation. The mitigation effects of suitable sun-shading systems have thus been quantified through thermal simulations. No openings in the external walls have been planned for the aging room (unit b in fig. 1) and the HVAC equipment room (unit c in fig. 1).

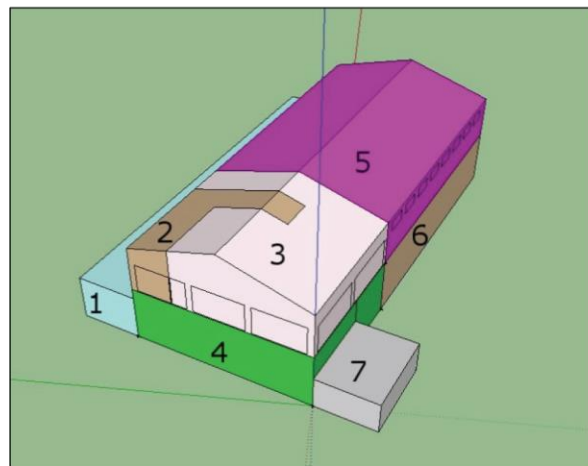
Optimal building orientation plays a key role in the design process. However, for both new construction and remodeling, building location and orientation are usually subject to various constraints related to planning regulations or site conditions (such as minimum distances from other buildings or streets, the need to preserve the shape of the construction area, landform, and accessibility), which may not allow adoption of the optimal solution. Therefore, this article focuses on a case study in which the original orientation of the old building has been kept unchanged (azimuth of the longitudinal axis equal to  $22^\circ$ ), and various alternatives are analyzed for the other design variables already mentioned (plan and elevation composition, sun-shading surfaces, and construction technology).

### THERMAL MODELING

The energy performances of the different design solutions were assessed in terms of the variation of mean indoor temperature in the various building areas throughout the year, and the annual amount of thermal energy to be transferred to maintain the predefined temperature in the areas provided with thermal control systems. The analyses were carried out using the EnergyPlus 7.0 Building Energy Simulation Program (USDOE, 2013), an open-source program for energy analysis and thermal load simulation that has

been previously used in studies of wine cellars (Mazarrón et al., 2012b). The main simulation assumptions are: uniform air temperature distribution in each zone, uniform temperature of each surface, uniform thermal radiation at long and short wavelengths, diffuse radiating surfaces, and one-dimensional heat conduction. Weather data were acquired from the nearest WMO weather station, located in Bologna, 32 km far from the study site. OpenStudio 0.7 (NREL, 2012) was used for the preprocessing and post-processing phases.

The modeling of the building was based on the definition of suitable thermal zones (TZs), i.e., volumes of air at a uniform temperature plus their boundary heat storage and transfer surfaces. The winery was discretized into the following thermal zones (fig. 2): (1) the aging room (unit b in fig. 1), (2) offices, (3) commercialization rooms, (4) wine-making area a (a4 in fig. 1), (5) winemaking area b (upper part of a1 in fig. 1), (6) winemaking area c (lower part of a1 beneath an ideal horizontal plane at the office floor height), and (7) the HVAC equipment room (unit c in fig. 1). The design provided some of these TZs with a thermal control system in order to simulate the maintenance of temperature within a predefined range. Temperature ranges and relevant time scheduling are shown in table 1.



**Figure 2. Thermal zone subdivision in the OpenStudio model.**



**Table 1. Size of the thermal zones and characteristics of the respective thermal control systems: presence of thermal control, temperature setpoints, and time schedules.**

Thermal Zone	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Thermal Control	Temperature Range 1 (TR <sub>1</sub> )	Temperature Range 2 (TR <sub>2</sub> )	Schedule TR <sub>1</sub>	Schedule TR <sub>2</sub>
1. Aging room	225	967	Yes	5°C to 17°C	-	All the time	-
2. Offices	61	326	Yes	20°C to 24°C	15°C to 27°C	Working time	All other times
3. Commercialization	170	955	Yes	20°C to 24°C	15°C to 27°C	Specific days <sup>[a]</sup>	All other days
4. Winemaking area a	231	1224	No				
5. Winemaking area b	438	2320	No				
6. Winemaking area c	-	2429	No				
7. HVAC room	44	134	No				
Total	1169	8355					

<sup>[a]</sup> Specific days for staff meetings and opening to the public. In this study, they correspond to Mondays and Fridays of every working week.

The thermal characteristics of the materials and systems of the building envelope, including the windows, were defined to meet the Italian regulations for heated rooms. In particular, we assumed that the thermal resistance is 10% higher than the minimum required (Italian climatic zone E:  $U = 0.27 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ,  $R = 3.70 \text{ K W}^{-1} \text{ m}^{-2}$  for external walls;  $U = 0.24 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ,  $R = 4.17 \text{ K W}^{-1} \text{ m}^{-2}$  for roofs; and  $U = 1.8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ,  $R = 0.56 \text{ K W}^{-1} \text{ m}^{-2}$  for windows). Since experimental data on ground temperatures at specific depths are not available for the study site, the variation of the daily mean temperature of the ground throughout the year at a given depth was assessed with the following equation (Kusuda and Archenbach, 1965):

$$T(x,t) = T_m - A_s \times e^{-x\sqrt{\pi/365\alpha}} \times \cos\left[\frac{2\pi}{365}\left(t-t_0 - \frac{x}{2}\sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}}\right)\right] \quad (1)$$

where

$T(x,t)$  = mean ground temperature at depth  $x$  (m) on day  $t$  of the year (°C)

$T_m$  = mean surface ground temperature (°C)

$A_s$  = annual temperature amplitude at the surface (°C)

$\alpha$  = ground thermal diffusivity (m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>)

$t_0$  = day of minimum surface temperature.

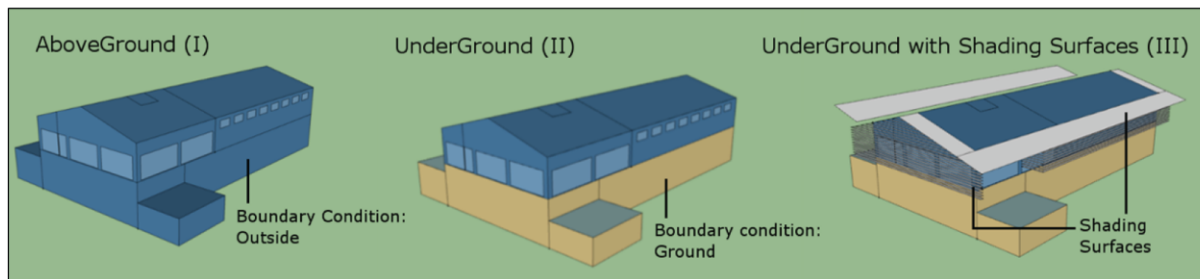
#### ALTERNATIVE DESIGN SOLUTIONS

Three different design solutions were analyzed and compared (fig. 3): an aboveground building (I), a partially underground building (II), and a partially underground building with sun-shading surfaces (III). In addition to the environmental advantages of underground cellars summarized earlier, in certain conditions a partially underground winery may be the most appropriate solution for other reasons. A typical case occurs when a winery is located on a hillside, where the differences in elevation can be optimally

used by building the cellar underground with access on the downhill side. The winemaking areas can be located on the upper floor or beside the cellar and, when enough difference in elevation is available, an aboveground level, higher than the winemaking area, may be built to receive grapes into a hopper placed in direct connection with the winemaking area. In this manner, the process can take advantage of gravity in the various phases of handling of raw materials, intermediate product, and finished product. On the contrary, construction on a hillside of a winery completely above ground would entail increasing costs in comparison with a partially underground design. These costs are due to the necessity of creating a floor level that is much higher than the foundation level.

In all three design solutions considered, the external walls are made of honeycomb brick masonry with expanded polystyrene insulation for the aboveground parts and reinforced concrete (RC) for the underground parts. The roofs of the aboveground parts are made of insulated corrugated metal panels, while the top floors of the underground parts are made of RC slabs. All windows are double-glazed.

Underground boundary conditions were assessed using equation 1, and aboveground boundary conditions were set based on the above-mentioned weather data. In both underground solutions (II and III), we set the workbench of the lower floor at the minimum subsurface depth at which undisturbed ground presents temperatures suitable for aging wine (not higher than 18°C; Mazarrón et al., 2012b). This depth was calculated for the case study using equation 1; at 4 m depth, the mean temperature is 13.6°C, with a  $\pm 3.5^\circ\text{C}$  annual variation. Based on this workbench depth, we defined the underground floor depth as 5.3 m. This depth allowed us to locate the floor of the office and commercialization areas at ground level, while allowing good functionality of the underground winemaking area. This also al-



**Figure 3. Alternative design solutions and relevant boundary conditions.**



lowed us to place a 1 m thick soil layer above the aging room to further improve its insulation. With the aim of reducing summer heat gains due to direct solar radiation, especially on the southern and western façades, we evaluated the effects of two types of sun-shading elements: roof overhangs and *brise-soleil* elements. Their position and size in solution III were defined using Ecotect Analysis software (Autodesk, 2012).

In ordinary working conditions of the winery, the aging room contains a quantity of wine whose thermal capacity can affect the indoor temperature trend; therefore, this thermal capacity should be included in the model. We thus considered the presence in unit b of quantities of aging wine corresponding to those most frequently used in the study area, ranging from 10% of yearly production assigned to a 12-month aging process, to 15% assigned to the 24-month aging process. Therefore, for each design solution described above, we considered five quantities of wine in the aging room: 0, 100, 200, 300, and 400 filled oak barrels with a capacity of 225 L per barrel. Empty barrels were ignored in the thermal simulations.

The barrels were introduced into the EnergyPlus simulation as thermal masses, which were modeled as parallelepipeds with the same base and side areas as a 225 L barrel. The modeled barrel is a two-layer construction: the exterior layer is oak wood as thick as the barrel staves, and the interior layer is a material with the thermal properties of wine (Boulton et al., 1996). The thickness of the material was obtained by dividing the barrel volume by the exterior parallelepiped surface.

In the winemaking room, a significant quantity of the annual wine production is stored for periods of time depending on the various factors related to the production and marketing strategies of the farm, such as the quantity of product commercialized as cask wine or bottled wine. Moreover, the wine kept in this room is usually partially contained in insulated and cooled tanks, and this reduces the influence of the wine volume on the indoor temperature. For these reasons, only the building components of the winemaking room were modeled in this study.

## CONSTRUCTION COSTS ASSESSMENT

The construction costs of different solutions were quantified considering implementation of Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings (EU, 2010). Considering construction cost payback, the savings resulting from the energy-efficient design are affected by several factors, such as system type and efficiency, power source, national subsidies, energy cost increases over time, and regulatory requirements. Moreover, such an analysis should also take into account the possible income increase from wine sales due to the enhanced environmentally friendly image of the winery, which could positively affect marketing policies.

Structural dimensioning necessary to assess the differences in construction costs for the three solutions was based on structural analyses performed with CDS software (STS, 2012), with reference to the Italian building code (Italy, 2008). A 0.50 m thick RC foundation slab and 0.30 m thick walls were used for the underground parts of the building. For the aboveground parts, two different solutions were considered: RC frame and steel frame, with a timber roof in both cases. Official price lists for public works (Marche Region, 2012) and estimates by various construction enterprises were used as economic reference data.

## RESULTS

Figure 4 shows the trends of the hourly mean temperature of the winemaking area, computed as the average of TZs 4, 5, and 6, throughout the year for the three design solutions. These trends show that solutions II and III produce an increase in winter mean temperatures and a decrease in summer temperatures with respect to solution I. Moreover, solution III allowed a 1°C reduction of summer temperatures compared to solution II. Figure 5 shows the annual amount of thermal energy to be transferred to maintain the temperature within the above-mentioned ranges in the TZs provided with thermal control systems for each design solution; the corresponding relative differences are

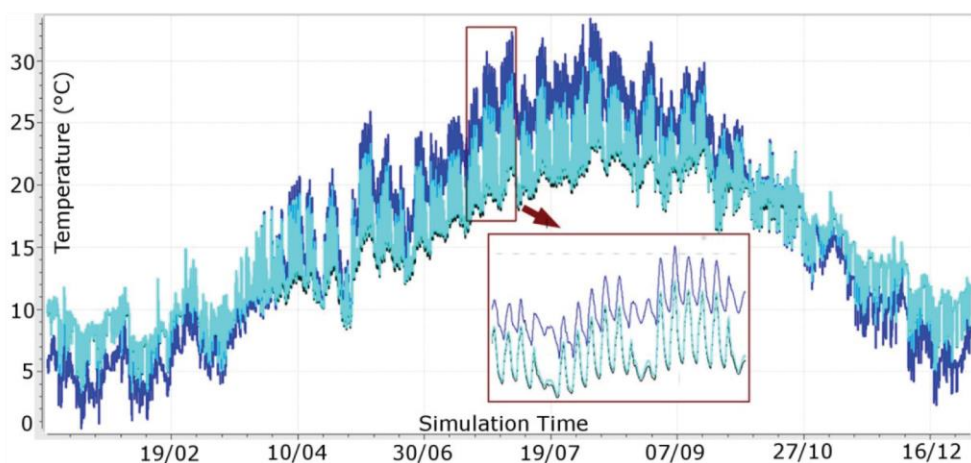


Figure 4. Variation of hourly mean air temperature of the winemaking area throughout the year (blue line = solution I, cyan line = solution II, and black line = solution III).

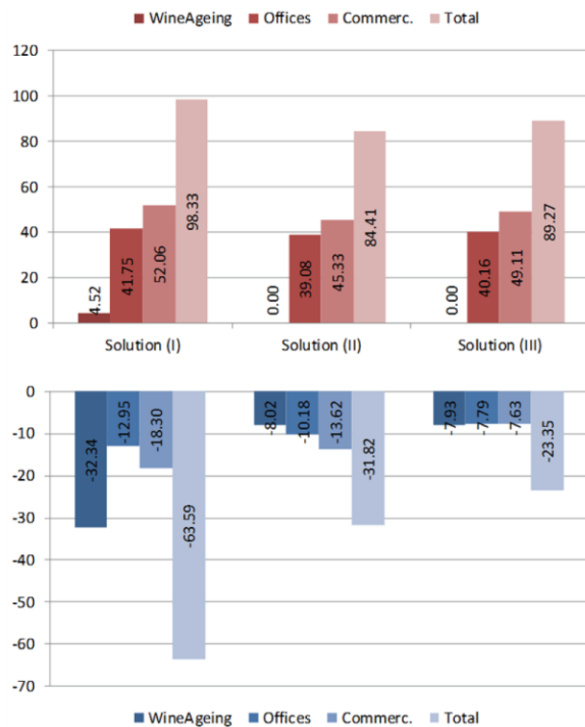


Figure 5. Annual amount of thermal energy (GJ) to be transferred to maintain the temperature within the target ranges in TZs.

reported in table 2. These results prove useful for quantify the annual building energy demand for the HVAC system.

For the aging room (TZ 1), both solutions II and III do not require any heating system and allow almost the same drastic reduction in energy demand for cooling. These benefits are mainly related to the effects of ground insulation rather than sun-shading. The slight further improvement by solution III compared to solution II is due to the above-mentioned lower summer temperatures in the adjacent winemaking area (TZ 4). As for the office (TZ 2) and commercialization (TZ 3) areas, the benefits of solutions II and III are greater, in relative terms, for the reduction in energy demand for air cooling. Solution II shows the highest absolute reduction in air heating demand for the commercialization area. The better performances of the commercialization and office TZs in solutions II and III, compared to solution I, can be related to the above-mentioned temperature mitigation during summer and winter in the adjoining winemaking area (TZ 4). Moreover, sun-shading elements remarkably improved the building's thermal performance in summer, as shown by the reduction in energy demand for cooling, with a slight increase in energy demand for heating in winter.

Table 2. Comparisons of annual amount of thermal energy to be transferred for air heating (H) and cooling (C).

Thermal Zone	II vs. I		III vs. II		III vs. I	
	H (%)	C (%)	H (%)	C (%)	H (%)	C (%)
1. Aging room	-100	-75	-	-1	-100	-75
2. Offices	-6	-21	3	-23	-4	-40%
3. Commercialization	-13	-26	8	-44	-6	-58%
Total	-14	-50	6	-27	-9	-63

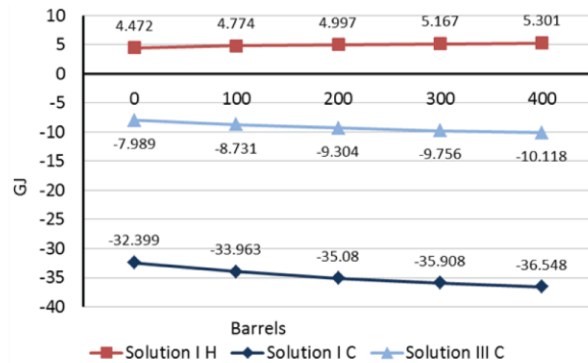


Figure 6. Energy trends to keep aging room within temperature ranges in relation with the number of barrels (H = heating; C = cooling).

Figure 6 shows the simulations results for the energy transfer necessary to maintain a set temperature in the aging room (TZ 1) considering different numbers of barrels. The three lines represent the energy to be transferred to keep the temperature above the minimum in solution I, the energy to be transferred to keep the temperature below the maximum in solution I, and the energy to be transferred to keep the temperature below the maximum in solution III. Results for the solution II simulations are omitted since they overlapped those of solution III ( $\pm 2\%$ ). In all three cases, an increasing number of barrels requires an increasing amount of energy. All three lines are similar to a straight line:  $y = ax + b$  (linear regression absolute  $r$  value is between 0.985 and 0.990), where  $b$  is the energy needed for zero barrels (shown in table 3), and  $a$  is the gradient and represents the yearly energy needed for each barrel kept.

Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings (EU, 2010) requires that by the end of 2020 "all new buildings are nearly zero-energy buildings (nZEB)." Because of this regulation, energy-saving solutions will become compulsory, regardless of the building cost and payback time. To quantify this factor for the study case, construction costs for the three solutions were calculated. Construction costs of the main building components, for each of the proposed solutions, are shown in table 4 and figure 7. The cost increases for solutions II and III are in comparison with the total construction costs of the corresponding structural elements for solution I.

As expected, the greatest cost increase between the aboveground and underground solutions is due to structural factors: excavation and RC underground walls cost 330,000 euros (60,000 for excavation and 270,000 for the walls). The structural cost represents a 20% increase for an RC structure and a 28% increase for a steel structure. This increase is partially recovered by the external walls and roof construction (-7% for solution II and -2% for solution III for an RC structure; -8% for solution II and -1% for solution III for a steel structure).

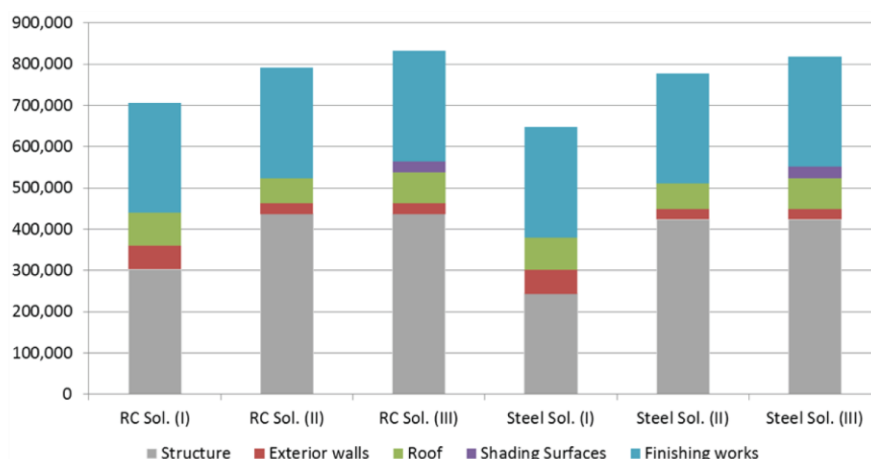
In sum, solutions II and III, in addition to reducing ener-

Table 3. Linear regression coefficients and  $r$  values.

	Solution I H	Solution I C	Solution III C
$a$ (MJ per barrel)	2.05	-10.24	-5.28
$b$ (MJ)	4.472	-32.399	-7.989
Regression	0.99	-0.98	-0.99

**Table 4. Construction costs of the various design solutions in absolute values and relative differences, referred to the aboveground solution.**

	Structure and Excavation (Euro)	External Walls (Euro)	Roof (Euro)	Shading Surfaces (Euro)	Finishing Work (Euro)	Total (Euro)	Cost (Euro m <sup>-2</sup> )	Increment (%)
<b>RC aboveground structure</b>								
Aboveground (I)	302,200	57,630	79,100	0	267,000	705,930	604	0
Underground (II)	436,400	25,500	61,600	0	267,000	790,500	676	12
Underground + sun shading (III)	436,400	25,500	74,600	28,000	267,000	831,500	711	18
<b>Steel aboveground structure</b>								
Aboveground (I)	243,200	57,630	79,100	0	267,000	646,930	553	0
Underground (II)	423,400	25,500	61,600	0	267,000	777,500	665	20
Underground + sun shading (III)	423,400	25,500	74,600	28,000	267,000	818,500	700	27



**Figure 7. Cost of different structures (steel and concrete) for solutions I, II, and III.**

gy demand, involve significantly higher construction costs, with increases ranging from 12% to 27% in comparison with solution I. This is one of the reasons why cheaper, low-efficiency buildings have been preferred for wine production in recent decades.

## CONCLUSIONS

This study represents a first contribution aimed at identifying design factors for the optimization of energy performance for farm buildings and their envelopes. The results underline how proper design solutions, whose energy performance can be assessed during the design phase using digital modeling and simulations, allow farms to reduce energy demand against a quantifiable increase in building cost. This process can lead to less dependence on external energy sources, as well as a positive public image for the farm, considering consumers' increasing sensitivity to environmental issues. In particular, this study showed that:

- The partially underground winery proved more suitable than the fully aboveground building for maintaining the indoor temperature within the optimal range for wine production.
- The partially underground building produced a reduction in energy transfer demand for the whole building, both for heating and cooling, in comparison with the fully aboveground design.
- The adoption of proper sun-shading systems can achieve a remarkable reduction in energy transfer

demand for cooling.

- The adoption of a fully underground cellar for wine aging can reduce the energy demand for heating the cellar to zero, in addition to reducing the energy demand for cooling by up to 75%, in comparison to an aboveground aging room.
- Based on standard construction costs in Italy, a steel frame structure is clearly less expensive than a reinforced concrete structure for a fully aboveground building, but little difference in construction cost was found for partially underground buildings.
- For the winery considered in this study, the mass of wine in the aging room caused an increase of up to 26% in the energy transfer required to maintain the temperature within the desired range, in comparison with an empty cellar. Therefore, as part of the design process, a thermal model of the winery must consider the masses of wine that will be stored in various areas of the building, according to the production management strategies of the farm.

Future developments of this research will involve in-depth studies of design parameters and modeling of additional design aspects and variables connected to wine production, including building orientation, thermal control, and energy systems, as well as relevant economic aspects. This future work will refer to both new winery buildings and the optimization of existing buildings, by means of experimental monitoring and investigations of sample farms, in order to calibrate and validate the simulation models.



## REFERENCES

- Alberti, L. B. 1565. *L'Architettura di Leon Battista Alberti Tradotta in Lingua Fiorentina da Cosimo Bartoli* (The architecture translated by Cosimo Bartoli), Vol. V, ch. 17, p. 157. Venice, Italy.
- Autodesk. 2012. Autodesk Ecotect Analysis. Milan, Italy: Autodesk S.r.l. Available at: [www.autodesk.it/adsk/servlet/pc/index?id=15078641&siteID=457036](http://www.autodesk.it/adsk/servlet/pc/index?id=15078641&siteID=457036).
- Ayuga, F. 1999. Wine processing. In *CIGR Handbook of Agricultural Engineering: Volume IV. Agro-Processing Engineering*, 419-446. F. W. Bakker-Arkema, ed. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Bondiac, E. 1980. *Elaboración de Vinos: Vinificación Moderna* (Manufacture of wines: Modern winemaking). 4th ed. Barcelona, Spain: Editorial Sintes.
- Boulton, R. 2010. Minimizing energy, water, and chemical footprints of wineries: Metrics and chemistries. Davis, Cal.: University of California, Department of Agriculture and Natural Resources. Available at: <http://ucanr.edu/repository/?get=73989>.
- Boulton, R., V. Singleton, L. Bisson, and R. Kunkee. 1996. *Principles and Practices of Winemaking*. New York, N.Y.: Springer.
- Ceylan, H. T., and G. E. Myers. 1980. Long-time solutions to heat conduction transients with time-dependent inputs. *ASME J. Heat Transfer* 102(1): 115-120.
- De Rosa, T. 1988. *Tecnología del Vino Tinto* (Red wine technology). Madrid, Spain: Ediciones Mundi-Prensa.
- di Giorgio Martini, F. 1967. *Trattati di Architettura, Ingegneria e Arte Militare* (Treatise on architecture, engineering, and art of war), Vol. II, p. 337. C. Maltese, ed. Milan, Italy: Il Polifilo.
- EC. 2011. Horizon 2020: The framework program for research and innovation. COM(2011) 808 final. Brussels, Belgium: European Commission.
- EU. 2010. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Brussels, Belgium: European Union.
- Fuller, R. J., M. B. Luther, and C. K. Cheung. 2004. Performance of a commercial wine store with insulated concrete walls. *Building and Environ.* 39(5): 537-545.
- Hidalgo Togores, J. 2003. *Tratado de Enología* (Treatise on enology). Madrid, Spain: Ediciones Mundi-Prensa.
- HKQAA. 2010. Wine storage management systems certification scheme handbook. Hong Kong: Hong Kong Quality Assurance Agency.
- Italy. 2008. D.M. 14/01/2008: Nuove norme tecniche per le costruzioni. Rome, Italy: Ministry of Infrastructures.
- Kusuda, T., and P. R. Archenbach. 1965. Earth temperature and thermal diffusivity at selected stations in the United States. *ASHRAE Trans.* 71(1): 61-75.
- Marche Region. 2012. Prezziario regionale (Regional price lists). Ancona, Italy: Regione Marche Giunta Regionale. Available at: [www.regione.marche.it/StrutturaRegionale/Viabilit%C3%A0edemanioidrico/Prezzario.aspx](http://www.regione.marche.it/StrutturaRegionale/Viabilit%C3%A0edemanioidrico/Prezzario.aspx).
- Marescalchi, C. 1965. *Manuale dell'Enologo* (Winemaker's manual). Casale Monferrato, Italy: Casa Editrice Marescalchi.
- Mazarrón, F. R., J. Cid-Falceto, and I. Cañas. 2012a. Ground thermal inertia for energy efficient building design: A case study on food industry. *Energies* 5(2): 227-242.
- Mazarrón, F. R., J. Cid-Falceto, and I. Cañas. 2012b. An assessment of using ground thermal inertia as passive thermal technique in the wine industry around the world. *Appl. Thermal Eng.* 33-34(1): 54-61.
- Négre-Francot, E. 1980. *Manual Práctico de Vinificación y Conservación de Vinos* (Practical manual for making and aging wines). 3rd ed. Barcelona, Spain: José Montesó.
- Notarnicola, B., G. Tassili, and G. M. Nicoletti. 2003. Life cycle assessment (LCA) of wine production. In *Environmentally Friendly Food Processing*, 306-326. B. Mattson and U. Sonesson, eds. Cambridge, U.K.: Woodhead Publishing.
- NREL. 2012. OpenStudio software. Golden Colo.: National Renewable Energy Laboratory. Available at: <https://openstudio.nrel.gov>.
- Ouyang, K., and F. Haghighat. 1991. A procedure for calculating thermal response factors of multi-layered walls: State space method. *Build. Environ.* 26(2):173-177.
- Palladio, A. 1570. *I Quattro Libri dell'Architettura* (The four books of architecture). Venice, Italy.
- Point, E., P. Tyedmers, and C. Naugler. 2012. Life cycle environmental impacts of wine production and consumption in Nova Scotia, Canada. *J. Cleaner Prod.* 27: 11-20.
- Ribéreau-Gayon, P., Y. Glories, A. Maujean, and D. Dubourdieu. 2002. *Tratado de Enología, Volumen 2: Química del Vino, Estabilización y Tratamientos* (Treatise of enology, Volume 2: Chemistry of wine, stabilization, and treatments). Madrid, Spain: Ediciones Mundi-Prensa.
- Ruiz de Adana, M., L. M. López, and J. M. Sala. 2004. A Fickian model for calculating wine losses from oak casks depending on conditions in aging facilities. *Appl. Thermal Eng.* 25(5-6): 709-718.
- Ruiz Hernández, M. 1999. *La Crianza del Vino Tinto desde la Perspectiva Vitícola* (The aging of red wine aging from the viticulture perspective). Madrid, Spain: Ediciones Mundi-Prensa.
- Scamozzi, V. 1615. *L'Idea dell'Architettura Universale* (The idea of the universal architecture), Vol. III, ch. 16. p. 289. Venice, Italy.
- Seem, J. E. 1987. Modeling of heat transfer in buildings. PhD diss. Madison, Wisc.: University of Wisconsin.
- STS. 2012. CDS software. Catania, Italy: Software Technico Scientifico. Available at: [www.stsweb.it/index.html](http://www.stsweb.it/index.html).
- Tassinari, P., G. Paolinelli, S. Benni, D. Torreggiani. 2010. Design of green areas for the promotion of agriculture: A study case of vine-growing and wine-producing farm. *Acta Hort.* 881: 81-384.
- Tassinari, P., S. Galassi, S. Benni, and D. Torreggiani. 2011. The built environment of farm wineries: An analysis methodology for defining meta-design requirements. *J. Agric. Eng.* 42(2): 25-31.
- Tassinari, P., A. Barbaresi, S. Benni, and D. Torreggiani D. 2012. Farm wineries design: Preliminary indications for integrating energy efficiency in building modeling. In *Proc. Intl. Conf. of Agricultural Engineering (CIGR-AgEng 2012): Agriculture and Engineering for a Healthier Life*. Available at: [http://cigr.ageng2012.org/images/fotosg/tabla\\_137\\_C1181.pdf](http://cigr.ageng2012.org/images/fotosg/tabla_137_C1181.pdf).
- Tassinari, P., D. Torreggiani, D. Benni, and E. Dall'Ara. 2013. Landscape quality in farmyard design: An approach for Italian wine farms. *Landscape Research*, doi: 10.1080/01426397.2012.746653.
- Theron, C. J., and C. J. G. Niehaus. 1934. Wine-making. Farmer's Bulletin Series No. 130. Pretoria, South Africa: Department of Agriculture.
- Torreggiani, D., S. Benni, V. Corzani, P. Tassinari, and S. Galassi. 2011. A meta-design approach to agroindustrial buildings: A case study for typical Italian wine productions. *Land Use Policy* 28(1): 11-18.
- Troost, G. 1985. *Tecnología del Vino* (Wine technology). Barcelona, Spain: Ediciones Omega.
- USDOE. 2013. EnergyPlus Engineering Reference. Berkeley, Cal.: U.S. Department of Energy, Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Vogt, E. 1971. *Fabricación de Vinos* (Winemaking). Zaragoza, Spain: Editorial Acirbia.
- Zamora, F. 2003. *Elaboración y Crianza del Vino Tinto: Aspectos Científicos y Prácticos* (Making and aging of red wine: Scientific and practical aspects). Madrid, Spain: Ediciones Mundi-Prensa.

## APPENDIX

Heat transfer was modeled through the conduction transfer function (CTF) algorithm, on the basis of the state space method (Ceylan and Myers, 1980; Seem, 1987; Ouyang and Haghighat, 1991). The software used in this study (USDOE, 2013) calculates the heating and cooling loads necessary to maintain thermal control setpoints in buildings, and the energy consumption of primary plant equipment. Because it is an integrated simulator, all three of the major parts (building, system, and plant) are solved simultaneously. The solution for the zone and air system integration requires the formulation of heat balance through the following differential equation:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad (2)$$

where

$t$  = time variable

$T_z$  = zone temperature

$C_z = \rho_{air} C_p$ , where  $\rho_{air}$  is the zone air density, and  $C_p$  is the zone air specific heat

$C_z \frac{dT_z}{dt}$  = energy stored in zone air

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$  = sum of the convective internal loads  
 $\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$  = convective heat transfer from the zone surfaces  
 $\sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$  = heat transfer due to interzone air mixing ( $m_i$  is the respective mass)  
 $\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$  = heat transfer due to infiltration of outside air ( $m_{inf}$  is the respective mass)  
 $\dot{Q}_{sys}$  = air systems output (if present), which can be formulated from the difference between the enthalpy of the supply air and the enthalpy of the air leaving the zone:

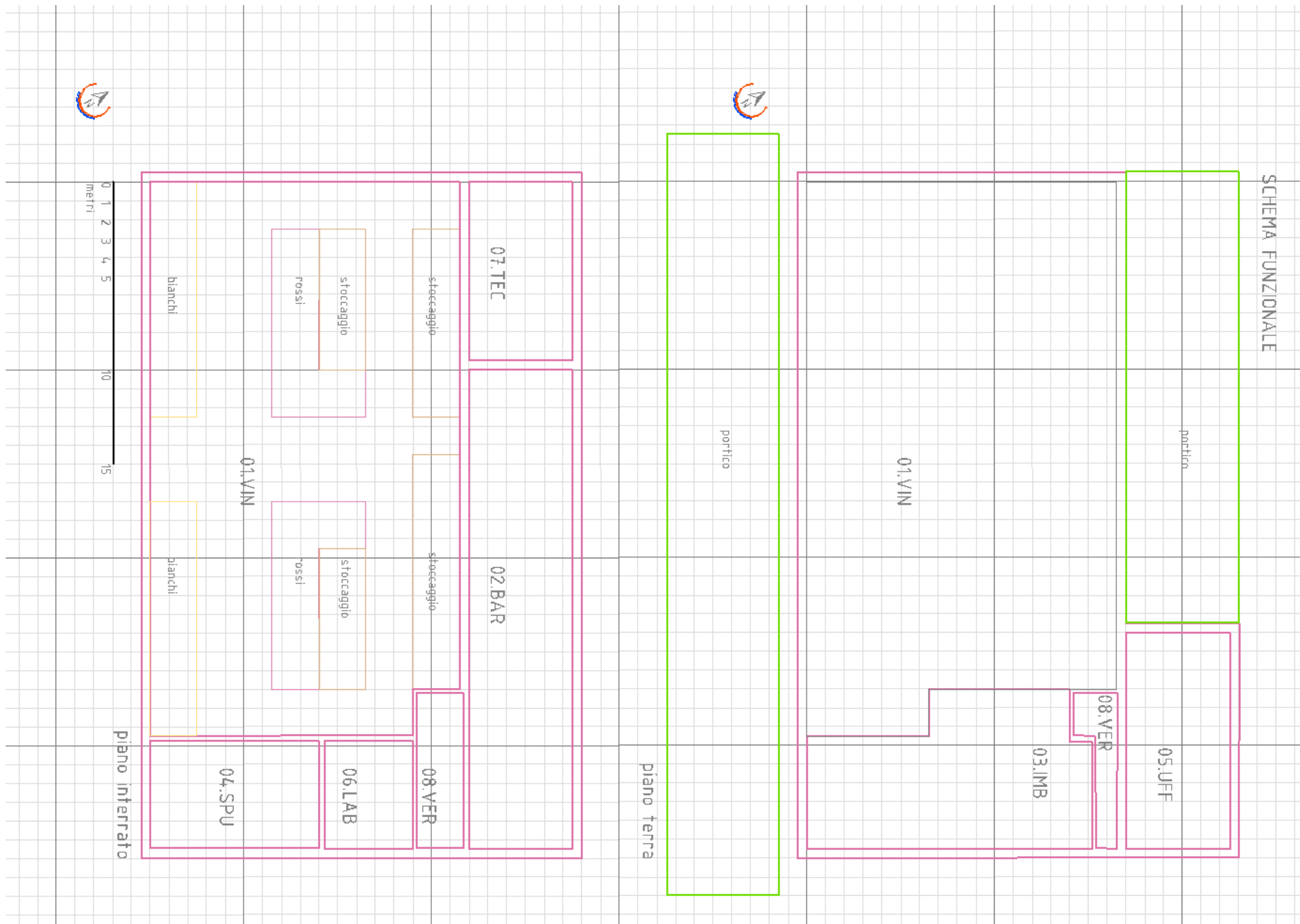
$$\dot{Q}_{sys} = \dot{m}_{sys} C_p (T_{sup} - T_z) \quad (3)$$

where  $m_{sys}$  is the mass of the air involved, and  $T_{sup}$  is the temperature of the supplied air.

The integrated analytical solution for the resulting zone air heat balance equation can be expressed as shown in equation 4, where  $T_z^t$  is the air zone temperature at time  $t$ , and  $\delta t$  represents the integration time step assumed.

$$T_z^t = \left( T_z^{t-\delta t} - \frac{\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_p T_{\infty} + \dot{m}_{sys} C_p T_{sup}}{\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p + \dot{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p} \right) \times e^{\left( - \frac{\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p + \dot{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p}{C_z} \delta t \right)} + \left( \frac{\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_p T_{\infty} + \dot{m}_{sys} C_p T_{sup}}{\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p + \dot{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p} \right) \quad (4)$$

### B.1 Schemi progettuali delle soluzioni parzialmente interrato (PUG)



**Figura 106 Schema funzionale**

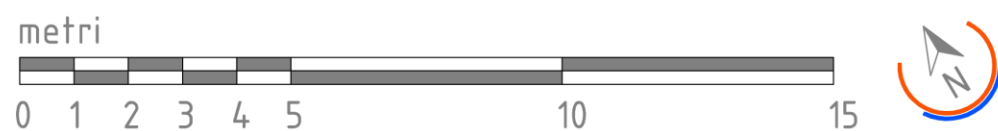
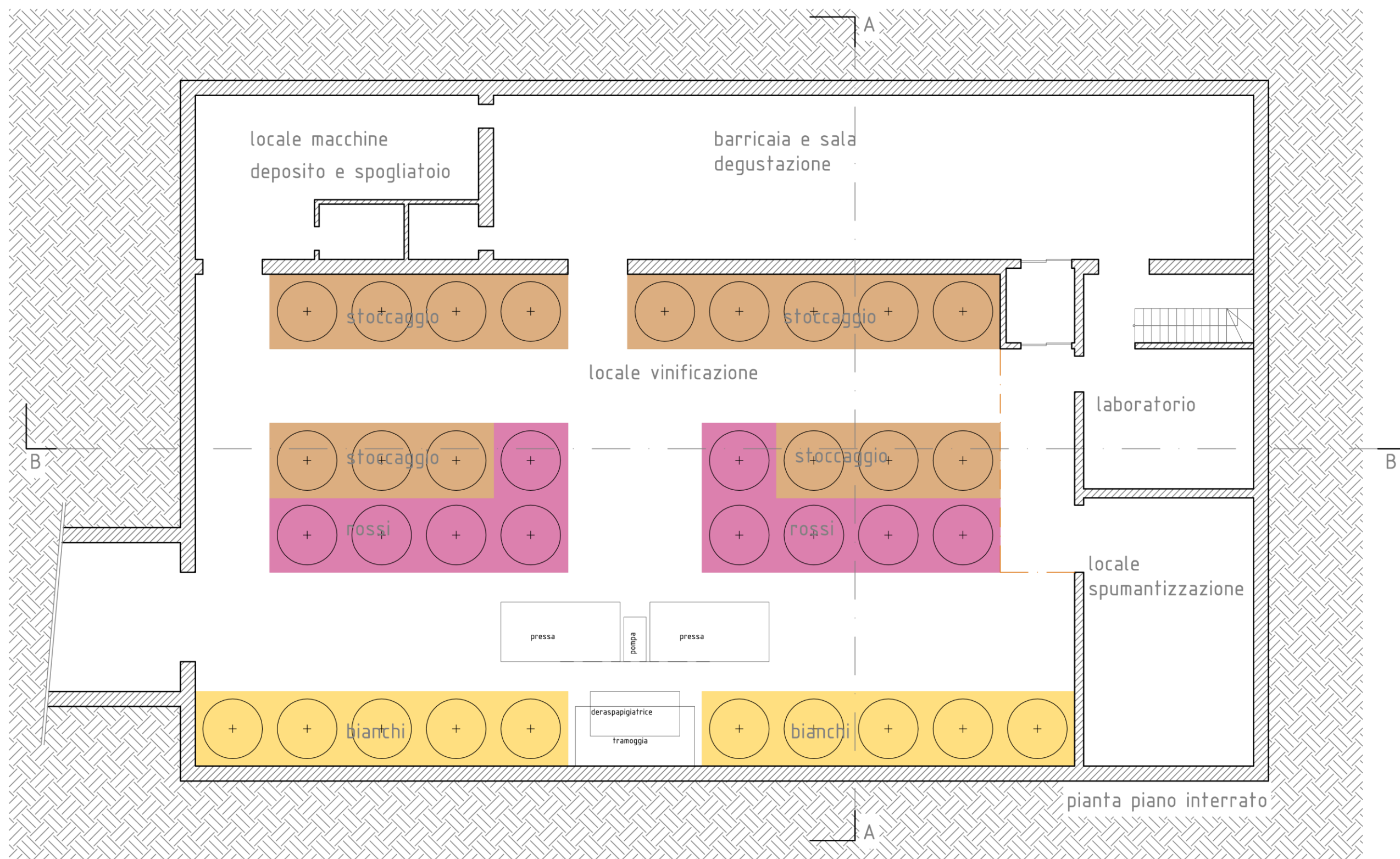


Figura 107 Pianta piano seminterrato

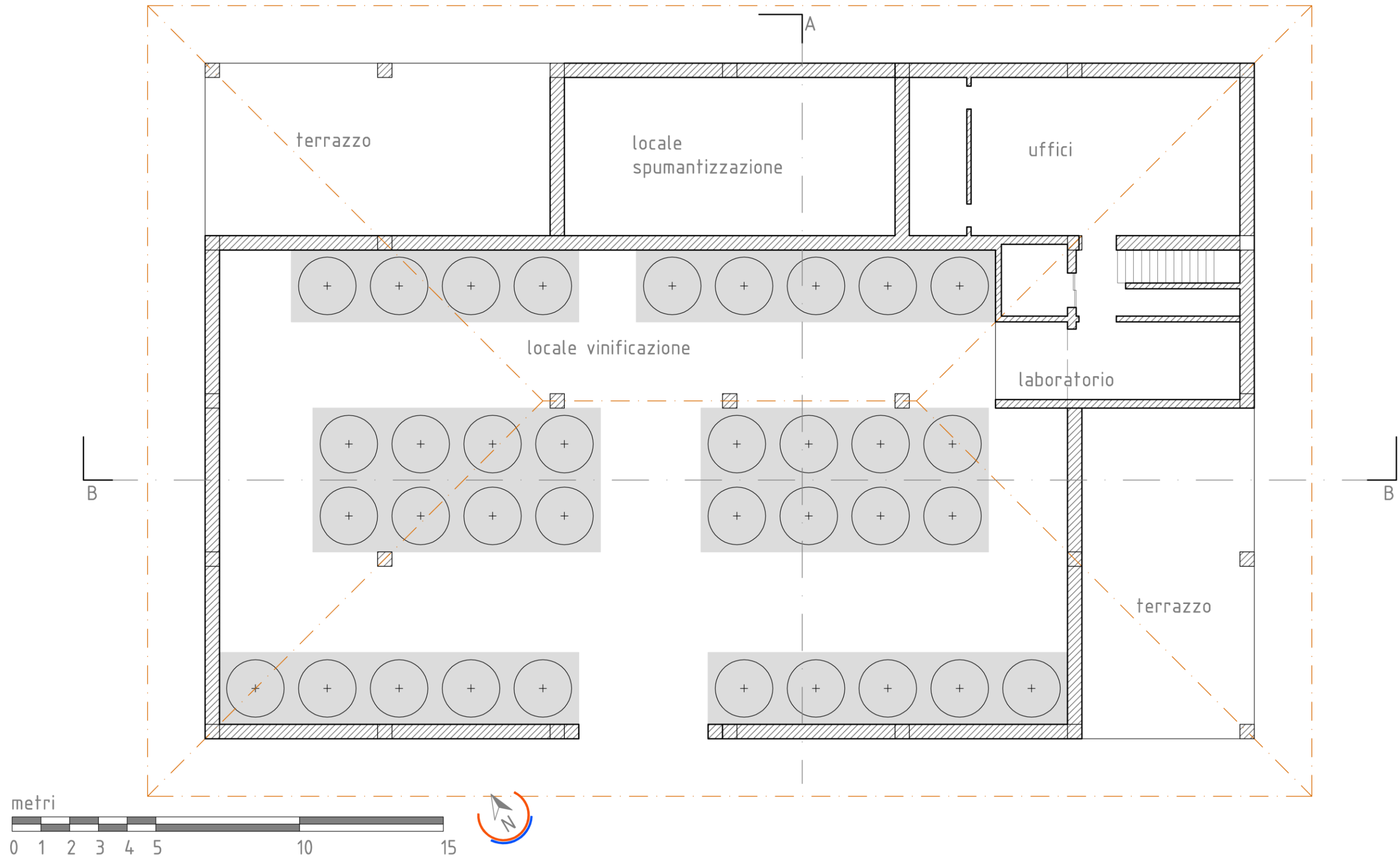


Figura 108 Pianta piano terra



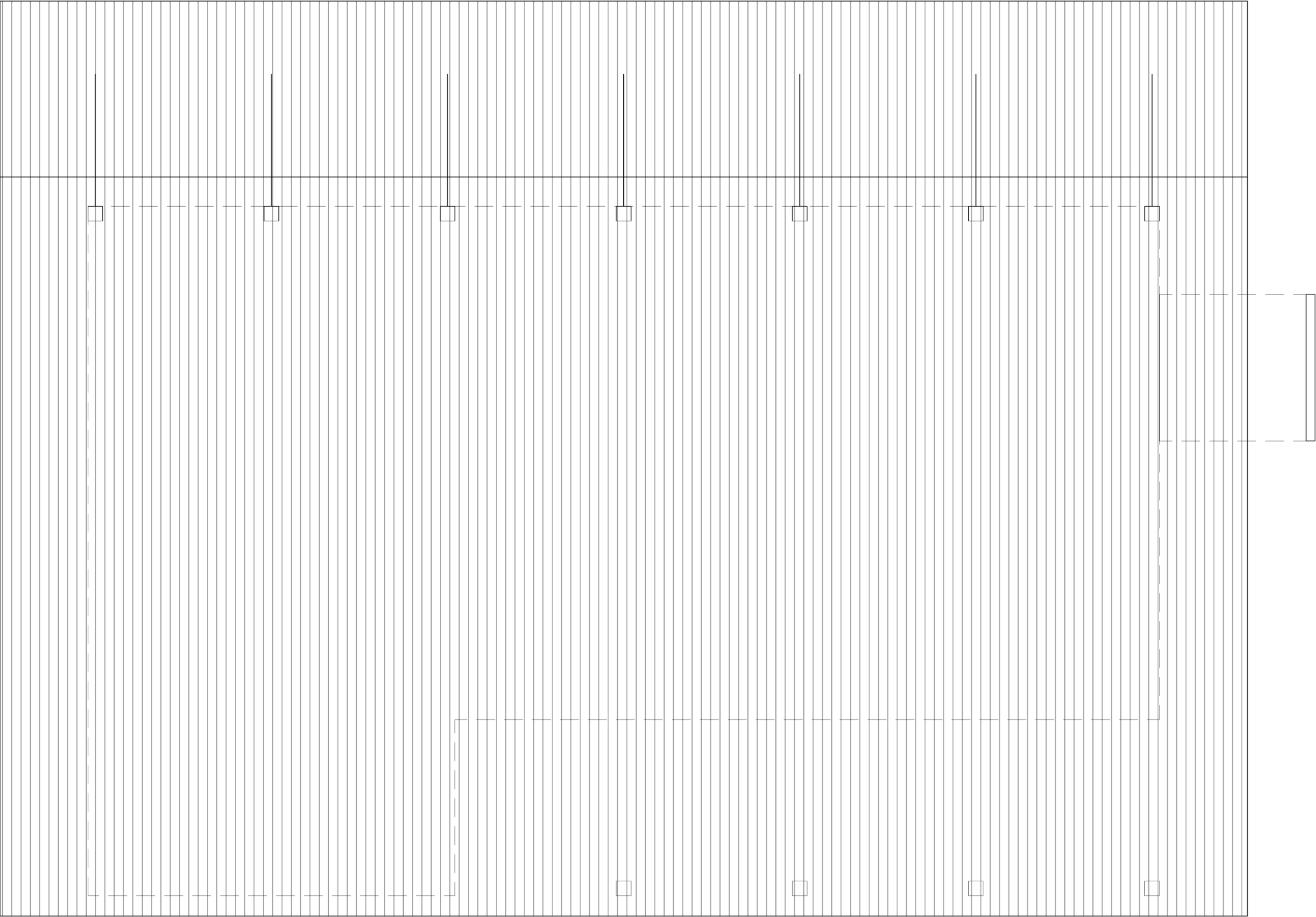


Figura 109 Pianta copertura

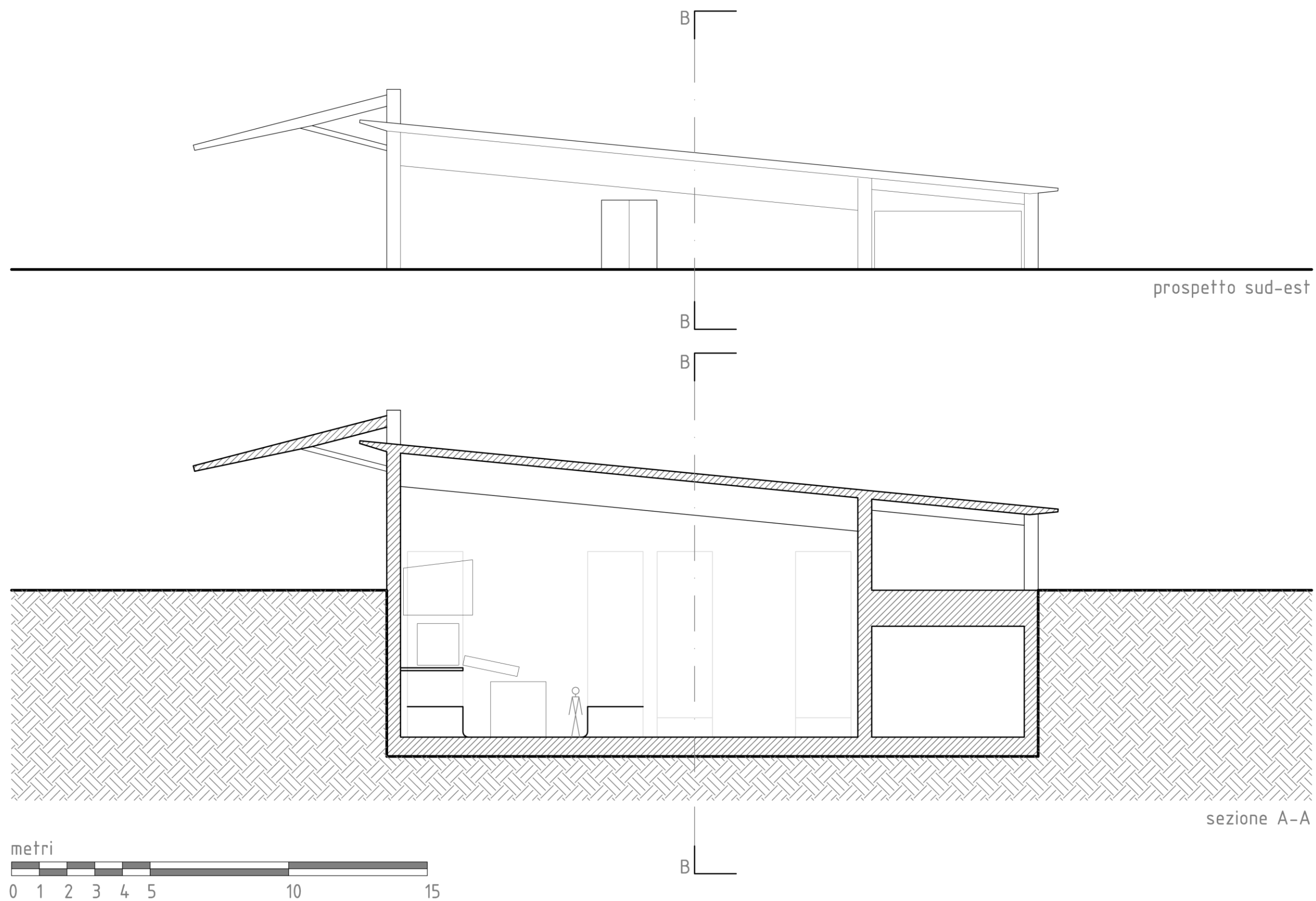


Figura 110 Prospetto sud-est e sezione A-A

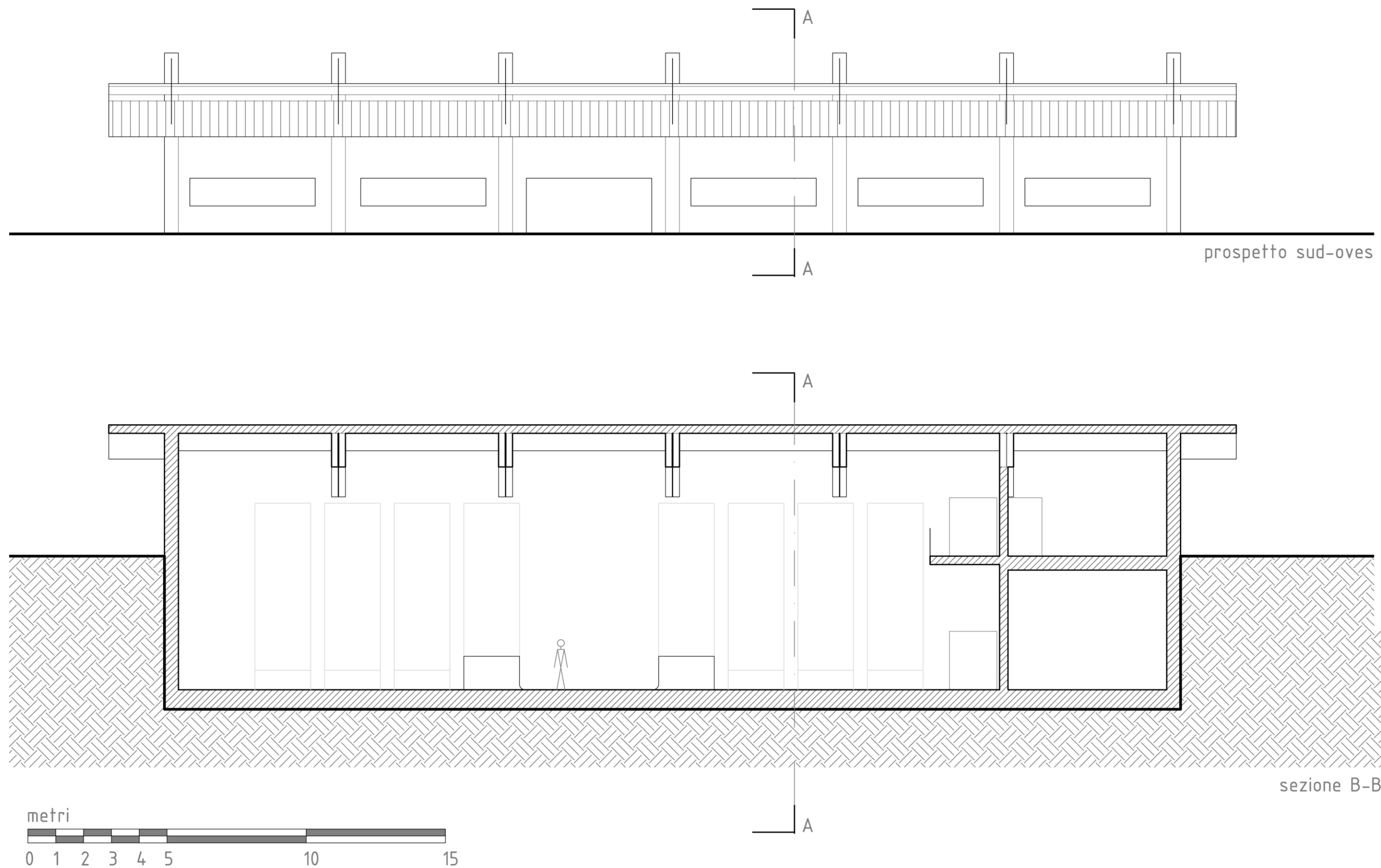


Figura 111 Prospetto sud-ovest e sezione B-B

B.2 Schemi progettuali delle soluzioni fuori terra (AGR)

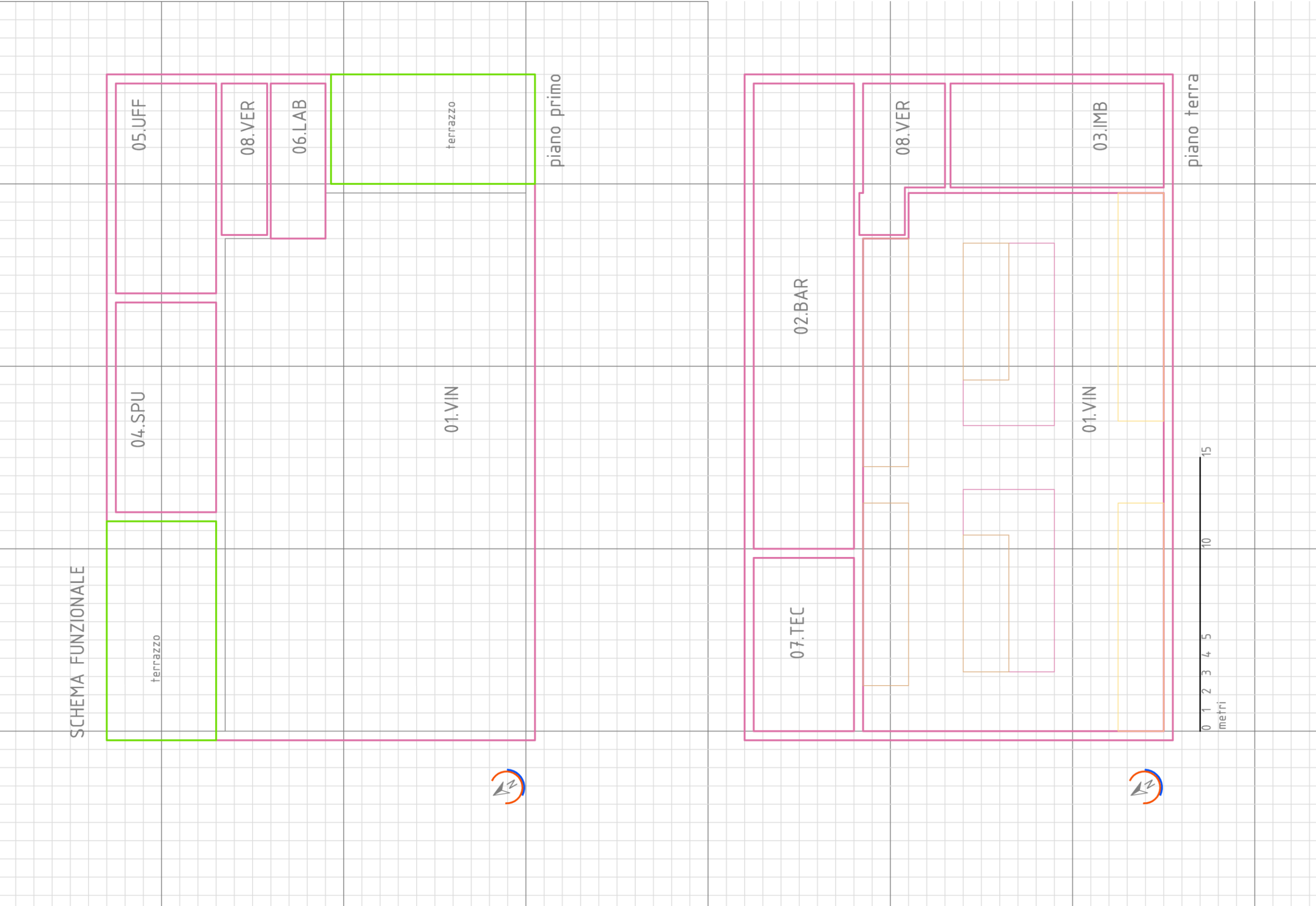


Figura 112 Schema Funzionale

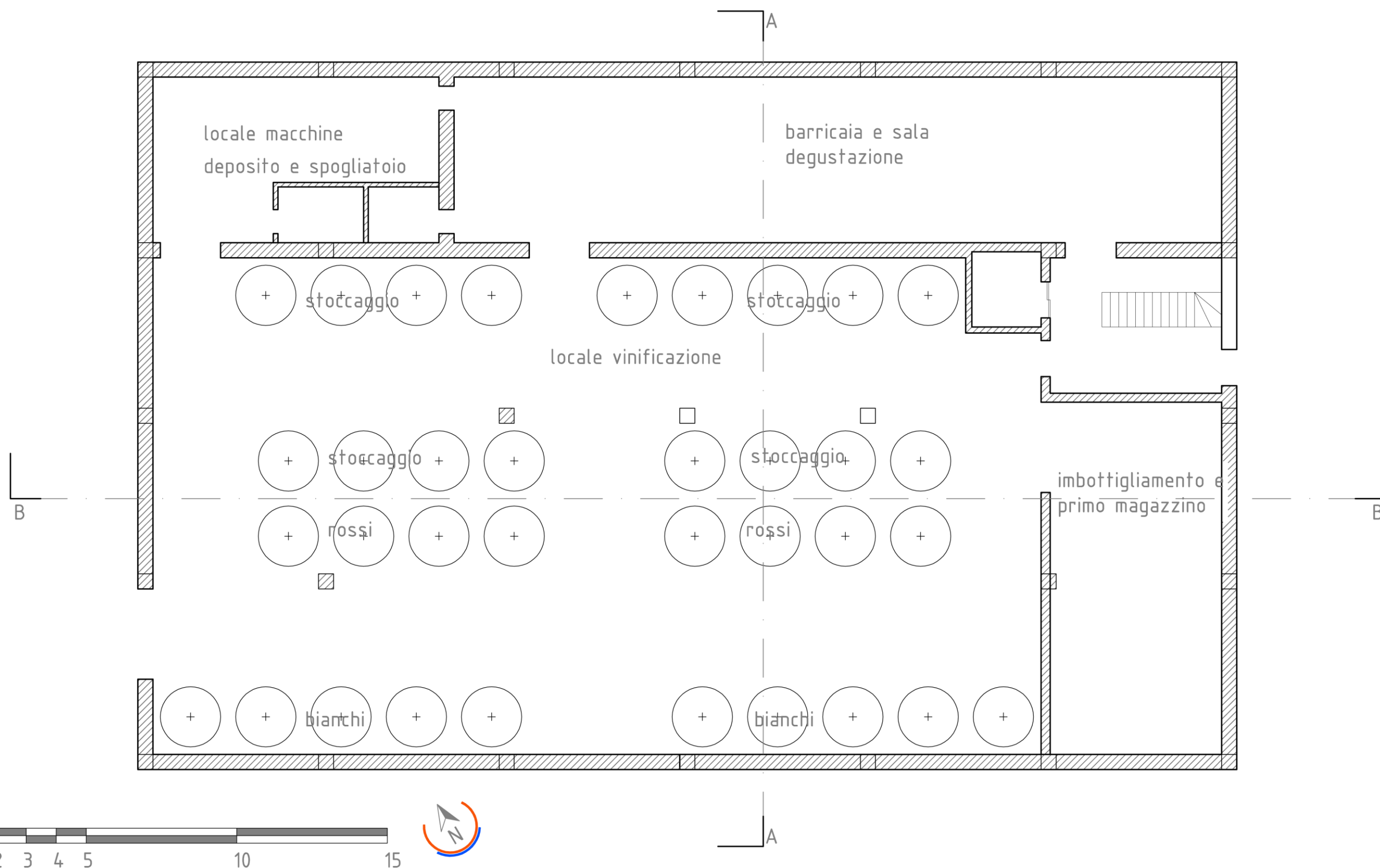


Figura 113 Piano terra

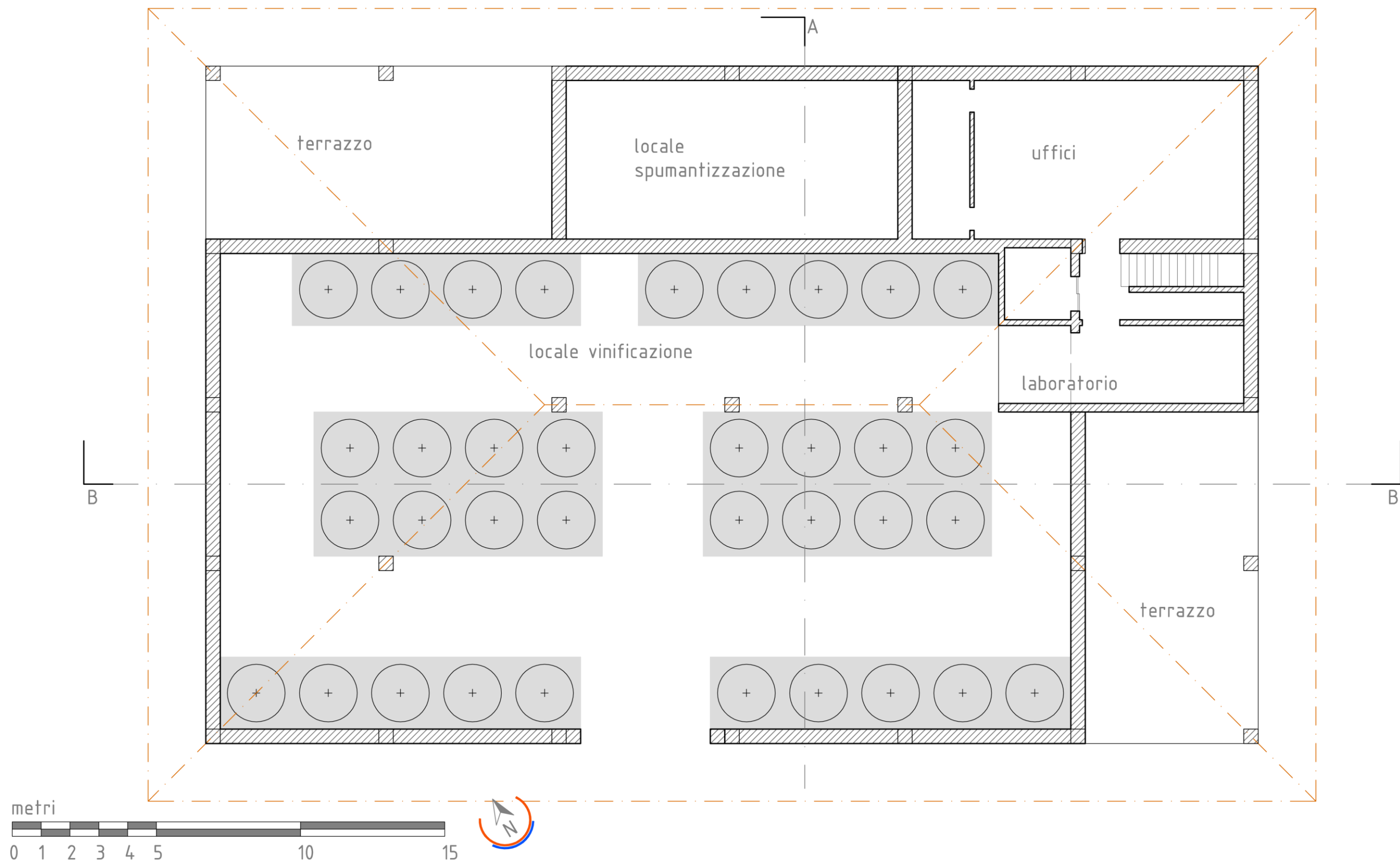


Figura 114 Pianta piano primo

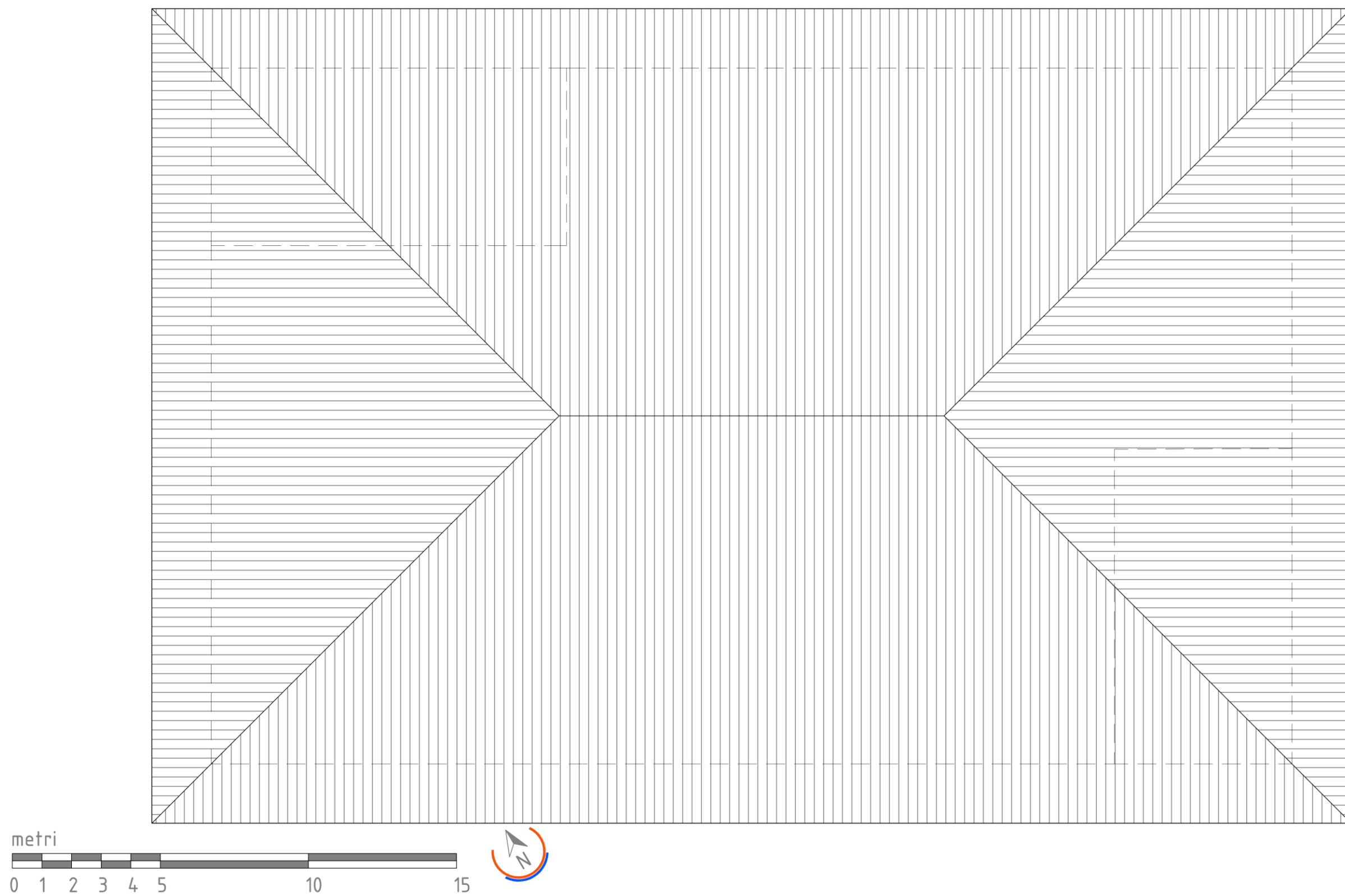


Figura 115 Pianta coperture



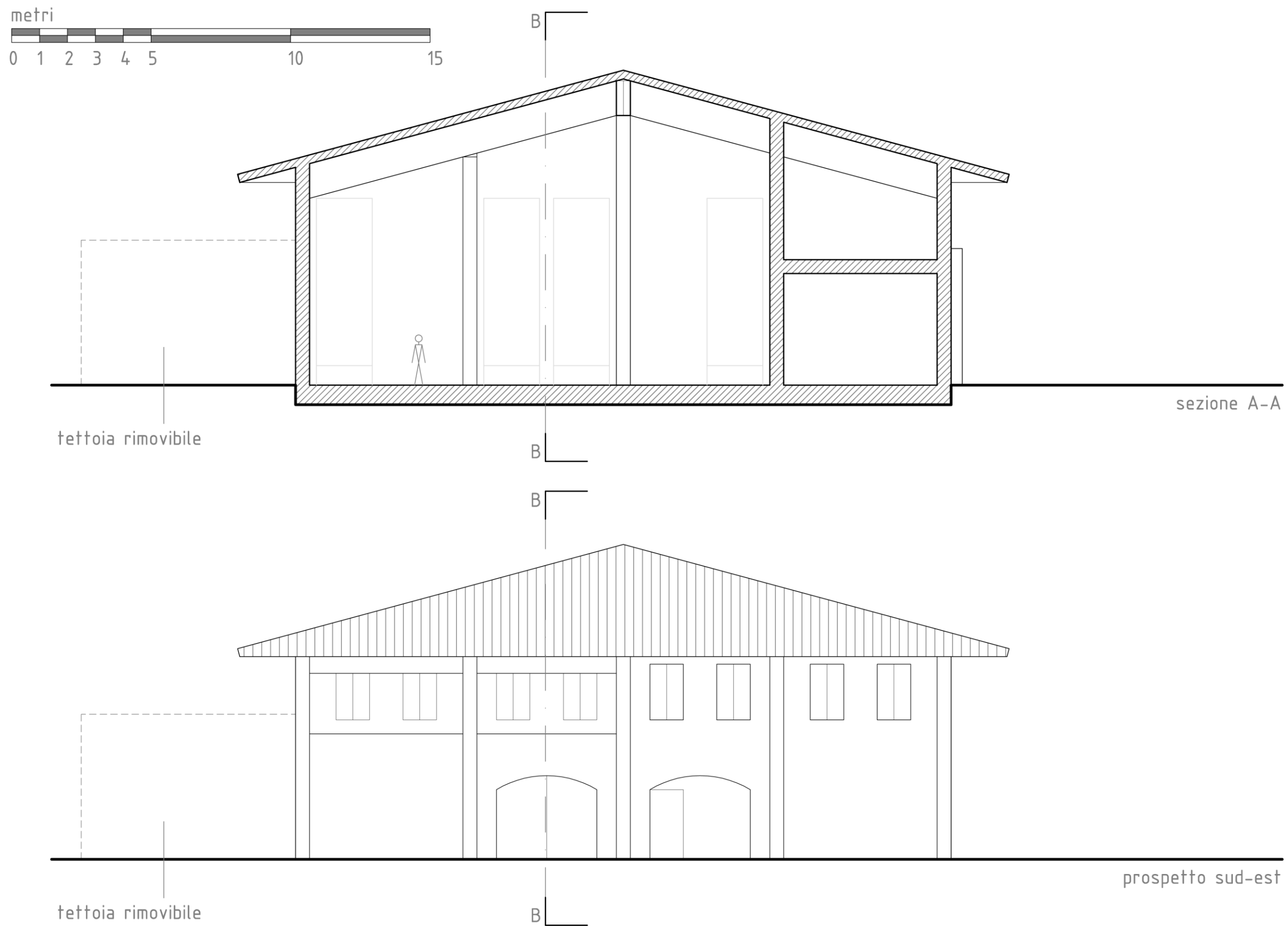


Figura 116 Sezione A-A e prospetto sud-est

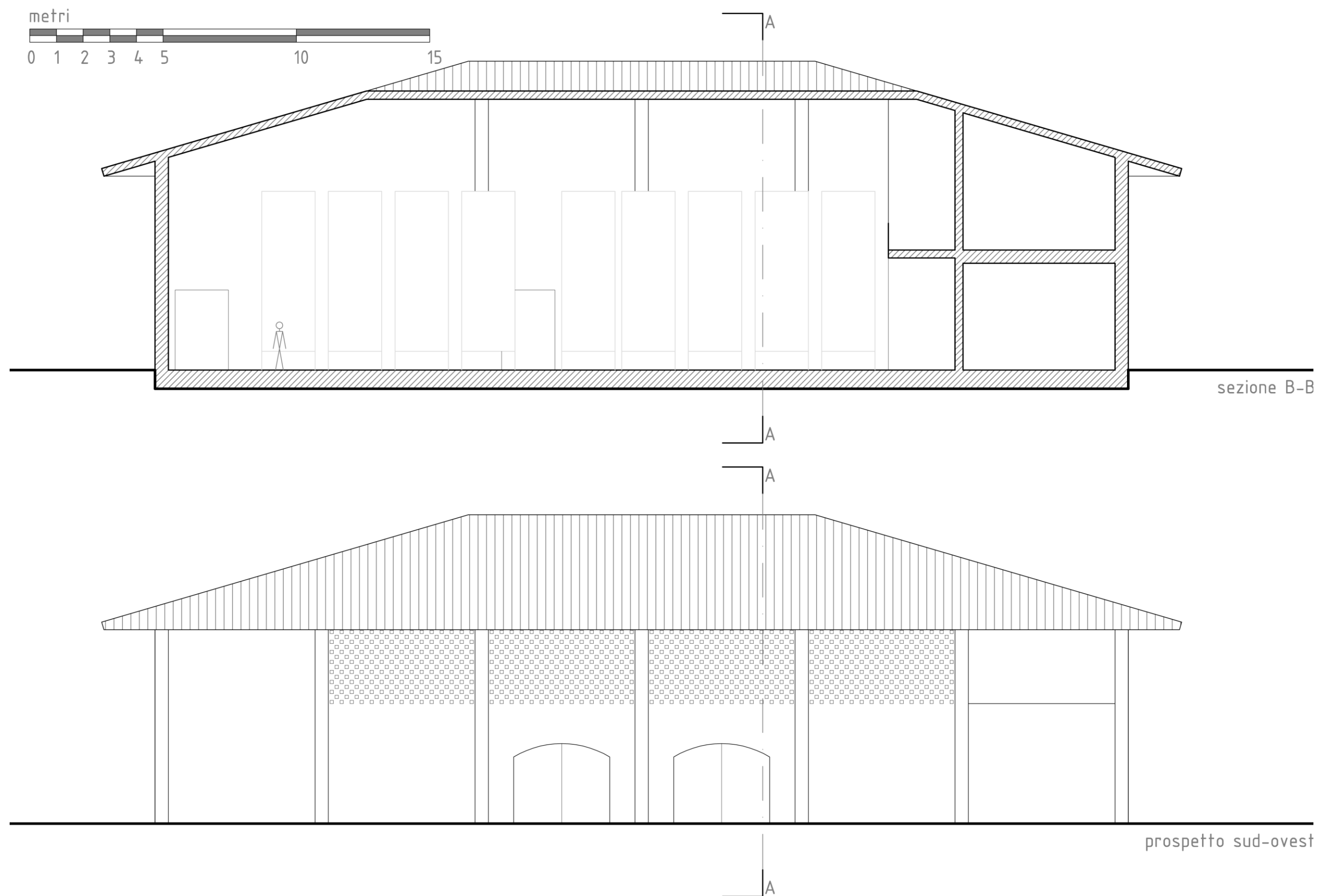


Figura 117 Sezione B-B e prospetto sud-ovest